Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement

Environment Canada
Environmental Protection Service

c 3

collection
ENVIROGUIDE

LE FLUORURE D'HYDROGÈNE ET L'ACIDE FLUORHYDRIQUE

Canada

juillet 1984

85-1688/

COLLECTION «ENVIROGUIDE»

La collection «Enviroguide» est constituée de guides d'information technique à utiliser en cas de déversements de matières dangereuses. Chaque guide fournit une masse considérable d'information relative au produit chimique dont il traite. L'information ainsi présentée a pour but d'aider l'utilisateur à mettre sur pied un plan d'intervention en cas d'accident et à évaluer les incidences sur l'environnement que peut avoir tel ou tel polluant. Le contenu de chacun des guides a été vérifié par la Direction des services techniques du Service de la protection de l'environnement avant que ne soit autorisée sa publication. Il est à noter qu'une telle autorisation n'implique pas que le contenu des guides reflète les points de vue ou la politique du Service de la protection de l'environnement. De même, le fait de mentionner des marques déposées ou des noms de produits commerciaux ne doit pas être interprété comme une forme de recommandation.

collection
ENVIROGUIDE

LE FLUORURE D'HYDROGÈNE ET L'ACIDE FLUORHYDRIQUE

DIRECTION DES SERVICES TECHNIQUES
DIRECTION GÉNÉRALE DES PROGRAMMES
DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT
SERVICE DE LA PROTECTION
DE L'ENVIRONNEMENT

OTTAWA
JUILLET 1984
ENVIRONNEMENT CANADA

Publication
distribuée par le Service des publications
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8

Edition française de
Hydrogen Fluoride and Hydrofluoric Acid
préparée par le Module d'édition française d'Environnement Canada

English copy available at the above mentioned address

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1984
N° de cat. En 48-10/15-1984F
ISBN 0-662-92790-7
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

AVANT-PROPOS

La collection «Enviroguide» a été lancée officiellement en 1983. Elle est constituée de guides d'information technique sur les produits chimiques qui sont les plus souvent en cause dans les cas de déversements accidentels. Les guides, qui s'adressent à des spécialistes dans le domaine des déversements, sont conçus pour aider à planifier les interventions d'urgence et évaluer les incidences sur l'environnement.

Vu la grande quantité d'information présentée et le caractère très technique des guides, ces derniers ne s'adressent pas au personnel de première intervention, pour qui existent déjà des manuels plus appropriés.

L'information offerte a été glanée en majeure partie dans des publications déjà existantes. Les auteurs ont pris grand soin, aussi bien au stade de la compilation qu'à celui de la révision, de vérifier la justesse des éléments retenus. Néanmoins, il ne faut pas voir dans la publication de ces éléments d'information une forme de recommandation de la part du gouvernement du Canada ni de quelque autre groupe.

REMERCIEMENTS

La version définitive du présent guide est l'oeuvre du personnel du Service de la protection de l'environnement, qui a procédé à la refonte de nombreux passages du texte initial, ajouté maints renseignements et commentaires et préparé les schémas et les figures.

Le travail préliminaire avait été donné à contrat par Environnement Canada aux firmes M.M. Dillon Consulting Engineers and Planners, Concord Scientific Corporation et Waterloo Engineering Limited.

L'abondance de détails qu'on trouve dans le guide est le fruit de la collaboration de plusieurs personnes, organismes et institutions qui ont fourni des données et des conseils précieux, au stade de la compilation comme au stade de la rédaction. Sous ce rapport, l'Association canadienne des fabricants de produits chimiques mérite des remerciements particuliers.

TABLE DES MATIÈRES

	Avant-propos	III
	Remerciements	III
	Liste des figures	VII
	Liste des tableaux	VII
	Abréviations et symboles	VIII
	Définitions	X
	Sigles	XI
1	**Résumé**	
1.1	Fluorure d'hydrogène/acide fluorhydrique	1
2	**Propriétés physiques et chimiques**	
3	**Production, transport et commerce**	
3.1	Qualités et titres du produit	7
3.2	Fabricants au Canada	7
3.3	Autres fournisseurs	7
3.4	Itinéraires utilisés pour le transport	7
3.5	Volume de production	8
3.6	Fabrication industrielle	8
3.6.1	Information générale	8
3.6.2	Matières premières	8
3.6.3	Procédés de fabrication	8
3.6.4	Fabrication de sous-produits	8
3.7	Principales utilisations au Canada	9
3.8	Principaux acheteurs au Canada	9
4	**Manutention du produit et compatibilité**	
4.1	Contenants et citernes de transport	15
4.1.1	Transport en vrac	15
4.1.1.1	Wagons-citernes	15
4.1.1.2	Véhicules-citernes routiers	16
4.1.1.3	Bouteilles	18
4.2	Déchargement	20
4.2.1	Matériel et technique de déchargement des wagons-citernes	20
4.2.2	Spécifications et matériel de déchargement	20
4.3	Compatibilité avec les matériaux	21
5	**Migration des polluants**	
5.1	Résumé	28
5.2	Nomogrammes des fuites	28
5.2.2	Nomogrammes	29
5.2.2.1	Trou dans le fond du wagon	29
5.2.2.1.1	Figure 12: Pourcentage du liquide restant en fonction du temps	29
5.2.2.1.2	Figure 13: Débit de fuite en fonction du temps d'écoulement	30
5.2.2.2	Trou pratiqué au sommet du réservoir	30
5.2.2.2.1	Figure 14: Pourcentage de liquide restant en fonction du temps	30
5.2.2.2.2	Figure 15: Débit de fuite en fonction du diamètre équivalent du trou	30
5.2.3	Exemple de calcul	30
5.3	Diffusion dans l'atmosphère	33
5.3.1	Introduction	33
5.3.2	Nomogrammes et tableaux de diffusion du panache	35
5.3.2.1	Figure 18: Taux d'émission de vapeur en fonction du rayon de la nappe de liquide à diverses températures	35
5.3.2.2	Figure 19: Concentration de vapeur en fonction de la distance sous le vent	37
5.3.2.3	Tableau 9: Demi-largeurs maximales du panache dangereux	37

5.3.2.4 Figure 21: Temps mis par le panache en fonction de la distance parcourue 42
5.3.3 Exemple de calcul 42
5.4 Comportement dans l'eau 44
5.4.1 Introduction 44
5.4.2 Étalement à la surface de l'eau 46
5.4.3 Dilution dans l'eau 46
5.4.4 Nomogrammes 46
5.4.4.1 Nomogrammes d'étalement sur les plans d'eau calme 47
5.4.4.2 Nomogrammes de diffusion dans l'eau – Cours d'eau non soumis à l'influence des marées 48
5.4.4.2.1 Figure 26: Distance en fonction du temps écoulé 48
5.4.4.2.2 Figure 27: Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal 48
5.4.4.2.3 Figure 28: Coefficient de diffusion en fonction du rayon hydraulique 48
5.4.4.2.4 Figure 29: Alpha en fonction du coefficient de diffusion 48
5.4.4.2.5 Figure 30: Alpha en fonction de delta 48
5.4.4.2.6 Figure 31: Teneur maximale en fonction de delta 48
5.4.4.3 Nomogrammes s'appliquant aux lacs et aux plans d'eau calme 49
5.4.4.3.1 Figure 32: Volume d'eau en fonction du rayon 49
5.4.4.3.2 Figure 33: Teneurs moyennes en fonction du volume d'eau 49
5.4.5 Exemples de calculs 49
5.4.5.1 Étalement à la surface d'une étendue d'eau calme 49
5.4.5.2 Teneur en polluants dans les cours d'eau non soumis à l'influence des marées 49
5.4.5.3 Teneur moyenne en polluants dans les lacs et les plans d'eau calme 50
5.5 Comportement dans la subsurface 50
5.5.1 Introduction 50
5.5.2 Équations décrivant la migration du fluorure d'hydrogène et de l'acide fluorhydrique 51
5.5.3 Coefficient de perméabilité en sol saturé du fluorure d'hydrogène et de l'acide fluorhydrique 51
5.5.4 Sols 52
5.5.5 Nomogrammes de pénétration 52
5.5.6 Exemple de calcul 52

6 Protection de l'environnement
6.1 Limites maximales admissibles 67
6.1.1 Qualité de l'eau 67
6.1.1.1 Situation au Canada 67
6.1.1.2 Autres pays 67
6.1.2 Qualité de l'air 67
6.2 Toxicité aquatique 67
6.2.1 Cote de toxicité aux États-Unis 67
6.2.2 Toxicité mesurée 68
6.2.2.1 Toxicité en eau douce 68
6.2.2.2 Toxicité dans l'eau salée 69
6.2.3 Études aquatiques 69
6.3 Toxicité pour les autres éléments du biote 69
6.3.1 Bétail 69
6.3.2 Plantes 70
6.3.2.1 Toxicité mesurée 70
6.4 Dégradation 71
6.5 Sol 72
6.5.1 Effets sur la composition chimique des sols 72

7 Effets sur la santé humaine
7.1 Normes d'exposition recommandées 73
7.2 Données sur l'irritation 75
7.2.1 Contact cutané 75
7.2.2 Contact avec les yeux 75
7.3 Seuil des propriétés perceptibles 75

7.3.1	Odeur	75
7.3.2.	Goût	77
7.4	Étude de toxicité	77
7.4.1	Inhalation et contact de la vapeur	77
7.4.2	Ingestion	78
7.4.3	Innoculation sous-cutanée	78
7.4.4	Innoculation intrapéritonéale	78
7.4.5	Effets tératogènes et mutagènes	78
7.5	Symptômes d'exposition	79
7.5.1	Inhalation	79
7.5.2	Ingestion	79
7.5.3	Contacts cutanés	79
7.5.4	Contacts avec les yeux	80
7.6	Toxicité pour l'homme des produits dégradés ou brûlés	80
7.6.1	Hydrogène	80
8	**Compatibilité chimique**	
8.1	Compatibilité entre le fluorure d'hydrogène et divers produits chimiques	81
9	**Mesures d'intervention et de sécurité**	
9.1	Mesures recommandées	84
9.1.1	Risques d'incendie	84
9.1.2	Agents d'extinction	84
9.1.3	Évaluation	84
9.1.4	Mesures à prendre en cas de déversement accidentel	85
9.1.4.1	Généralités	85
9.1.4.2	Déversements sur le sol	85
9.1.4.3	Déversements sur l'eau	85
9.1.5	Nettoyage et traitement	86
9.1.5.1	Déversement sur le sol	86
9.1.5.2	Généralités	86
9.1.6	Élimination	86
9.1.7	Mesures de protection	86
9.1.8	Précautions spéciales	87
9.2	Équipements, matériel et techniques spécialisés d'intervention	88
10	**Cas de déversements accidentels**	
10.1	Fuite dans un camion-citerne	89
11	**Identification et dosage des polluants**	
11.1	Dosage du polluant présent dans l'air (analyses quantitatives)	90
11.2	Identification du polluant présent dans l'air (analyse qualitative)	90
11.3	Dosage du polluant présent dans l'eau (analyses quantitatives)	91
11.3.1	Électrode pour ions spécifiques	91
11.3.2	Photométrie	91
11.4	Dosage du polluant présent dans l'eau (analyse qualitative)	91
12	**Références et bibliographie**	
12.1	Références	92
12.2	Bibliographie	98

LISTE DES FIGURES

1 Masse molaire apparente en fonction de la température 11
2 Point de congélation en fonction de la teneur en HF 11
3 Masse volumique en fonction de la température 12
4 Masse volumique de la vapeur saturée en fonction de la température 12
5 Tension de la vapeur en fonction de la température 13
6 Viscosité du liquide en fonction de la température 13
7 Viscosité de la vapeur en fonction de la température 14
8 Diagramme de phase 14
9 Wagon-citerne – classe 105A300W 17
10 Matériaux ayant un taux de corrosion inférieur à 0,5 mm (0,02) par année 26
11 Wagon-citerne percé dans le bas ou dans le haut 29
12 Pourcentage du liquide restant en fonction du temps 31
13 Vitesse d'écoulement en fonction de la taille du trou 31
14 Pourcentage du liquide restant en fonction du temps 32
15 Vitesse d'écoulement en fonction de la taille du trou 32
16 Formation d'un panache de vapeurs 34
17 Etapes à suivre pour déterminer la zone dangereuse 36
18 Débit d'émission des vapeurs en fonction du rayon de la nappe à diverses températures 38
19 Teneur uniformisée en vapeurs en fonction de la distance sous le vent 39
20 Conversion de la TLV de ppm en g/m^3 41
21 Distance parcourue par le panache en fonction du temps écoulé 43
22 Zone dangereuse sous un vent invariable – exemple de problème 45
23 Zone dangereuse sous un vent variable – exemple de problème 45
24 Rayon maximal de la nappe en fonction de la masse déversée 47
25 Etapes à suivre pour calculer la teneur en polluant dans une rivière non soumise aux marées 53
26 Distance en fonction du temps 54
27 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal 55
28 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique 56
29 Alpha en fonction du coefficient de diffusion turbulente 57
30 Alpha en fonction de delta 58
31 Teneur maximale en fonction de delta 59
32 Volume d'eau en fonction du rayon 60
33 Teneurs moyennes en fonction du volume d'eau 61
34 Migration dans le sous-sol 62
35 Plan d'utilisation des nomogrammes 63
36 Migration dans le sable grossier 64
37 Pénétration dans le sable limoneux 65
38 Migration dans le till argileux 66

LISTE DES TABLEAUX

1 Nomogrammes de conversion 10
2 Spécifications relatives aux wagons-citernes 15
3 Spécifications relatives aux wagons-citernes – classe 105A300W 18
4 Spécifications s'appliquant aux wagons-citernes 19
5 Spécifications s'appliquant aux bouteilles 19
6 Compatibilité avec les matériaux 22
7 Matériaux 27
8 Deux catégories de conditions météorologiques 37
9 Demi-largeurs maximales du panache dangereux 40

ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

adf	Antidéflagrant
atm	Atmosphère
c.f.	Coupelle fermée
c.o.	Coupelle ouverte
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
d	Densité
d vap	Densité de vapeur
d.-v.	Demi-vie
D ext.	Diamètre extérieur
D int.	Diamètre intérieur
DAMM	Diamètre aérodynamique moyen en masse
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
D_e	Diamètre d'entrée
DIF	Détecteur d'ionisation à flamme
DMM	Diamètre moyen en masse
DMN	Diamètre moyen en nombre
DMV	Diamètre moyen en volume
DPI	Détecteur à photo-ionisation
D_s	Diamètre de sortie
DL min.	Dose létale minimale
DL 50	Dose létale moyenne
et coll.	et collaborateurs
eV	Électronvolt
f. n. éq.	Fumée normalisée équivalente
gal imp.	Gallon impérial
IDLH	*Immediately Dangerous to Life or Health*
IR	Infrarouge
j	jour
J	Joule
K	Coefficient de perméabilité
l	litre
L.I.E.	Limite inférieure d'explosibilité
L.I.I.	Limite inférieure d'inflammabilité
L.S.E.	Limite supérieure d'explosibilité
L.S.I.	Limite supérieure d'inflammabilité
m	Masse
MAK	Teneur maximale admissible (norme établie par la RFA)
MAK-K	Teneur maximale admissible (norme établie par la RDA)
MAK-D	Teneur maximale admissible – courte durée (norme établie par la RDA)
max.	Maximum
mé/l	Milliéquivalent par litre
MIK	Teneur maximale d'immission (norme établie par la RDA)
min.	Minimum
mn	Minute
M mol.	Masse molaire
M vol.	Masse volumique
mol	Mole
MPT	Moyenne pondérée en fonction du temps
N	Newton
Pa · s	Pascal seconde
pds éq.	Poids équivalent
ppb	Parties par milliard (10^{-9})
ppm	Parties par million (10^{-6})
ppt	Parties par mille (10^{-3})
psi	*Pounds per square inch*
P	Pression
P_c	Pression critique
PEL	*Permissible Exposure Limit*
Po	Poise
Pt cong.	Point de congélation
Pt déf.	Point de déflagration
Pt dét.	Point de détonation
Pt ébul.	Point d'ébullition
Pt écl.	Point d'éclair
Pt écoul.	Point d'écoulement
Pt fus.	Point de fusion
Pt liq.	Point de liquéfaction
PVC	Chlorure de polyvinyle
q	Débit
q_e	Débit d'entrée
q_f	Débit de fuite
q_m	Débit-masse
q_s	Débit de sortie
q_v	Débit-volume
std	Standard
SM	Spectroscopie de masse
St	Stokes
STEL	*Short Term Exposure Limit*
t	Tonne
t	Temps
temp.	Température
$temp._c$	Température critique
TE 50	Teneur efficace moyenne
tf	Tonne forte
TI 50	Teneur inhibitrice moyenne
TLm	Tolérance moyenne
TL min.	Teneur létale minimale
T_L 50	Teneur létale moyenne
TLV®	*Threshold Limit Value*
TLV®C	*Threshold Limit Value-Ceiling*
TPN	Température et pression normales

TT min.	Teneur toxique minimale
u	Vitesse du vent
μ	Viscosité
vap	Vapeur
vol.	Volume
V	Vitesse d'écoulement
V biod.	Vitesse de biodégradation
V évap.	Vitesse d'évaporation
^{o}Bé	Degré Baumé
^{o}C	Degré Celsius
ϕ	Diamètre
x	Distance sous le vent
W	Ne pas utiliser d'eau comme moyen d'extinction

DÉFINITIONS

Les définitions figurant ci-dessous valent pour la collection «Enviroguide». Le lecteur notera qu'elles n'ont pas toujours une portée générale. Pour plus de détails, ou pour d'autres définitions, se reporter au manuel d'introduction de la collection.

Bio-accumulation. – Rétention sans cesse croissante d'une substance dans les tissus d'un organisme tout au long de son existence (le facteur de bioconcentration augmentant sans cesse).

Bio-amplification. – Rétention d'une substance dans les tissus à des teneurs de plus en plus élevées au fur et à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie des organismes de la chaîne alimentaire.

Bioconcentration. – Rétention d'une substance dans les tissus d'un organisme au point que la teneur des tissus en cette substance surpasse la teneur du milieu ambiant en cette substance, à un moment donné de la vie de cet organisme.

Concentration. – Comme ce mot a des sens multiples et parfois mal définis selon qu'il s'agit de chimie, de biologie ou d'écologie, on lui a préféré des termes jugés plus précis, tels titre, teneur et bioconcentration.

Contaminant. – Polluant qui figure sur une liste de produits dangereux, établie en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement.

Dose létale minimale. – Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la dose définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible dose (autre que la DL 50) d'une substance dont l'absorption, excluant l'inhalation, en une ou plusieurs prises, au bout d'un temps donné, a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. DL min.

Dose létale moyenne (1). – Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la dose qui tue, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. DL 50.

Dose létale moyenne (2). – À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la dose (calculée) d'une substance censée entraîner, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'absorption, excluant l'inhalation, d'une quantité de cette substance par un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. DL 50.

Dose toxique minimale. – La plus faible dose d'une substance, introduite par toute autre voie que l'inhalation, pendant quelque période de temps que ce soit, dont l'absorption a été signalée comme cause d'effet toxique chez des personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. DT min.

Facteur de bioconcentration. – Rapport de la teneur en une substance des tissus d'un organisme exposé (moins la teneur des tissus d'un organisme témoin) à la teneur en cette substance du milieu ambiant.

IDLH *(Immediately Dangerous to Life or Health).* – Teneur plafond à laquelle, dans un délai maximal d'exposition de 30 minutes, il est possible à une personne de fuir les lieux exposés sans qu'il n'y ait manifestation de signes fonctionnels d'intoxication, perturbation irréversible de la santé ou décès. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Immission. – Transfert d'un polluant de l'atmosphère vers un «récepteur» qui peut être une personne, un animal, une plante. La teneur maximale d'immission, mentionnée au chapitre 7, se rapporte au polluant retenu dans les poumons. Il s'agit d'un concept d'origine allemande, adopté par l'ISO.

Létal. – En toxicologie, synonyme de mortel.

MAK *(Maximale Arbeidsplatz Konzentration).* – Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RFA.

MAK-D. – Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

MAK-K. – Teneur limite admissible en milieu de travail pour une période très courte ne dépassant pas 30 minutes. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

PEL *(Permissible Exposure Limit).* – Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle peuvent être exposés des travailleurs pendant une période de relève. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Polluant. – Agent physique, chimique ou biologique qui provoque une dégradation dans un milieu donné.

STEL (TLV – *Short Term Exposure Limit*). – Teneur limite à laquelle les travailleurs peuvent être exposés de façon continue pour une courte période sans souffrir d'irritation, de dommage irréversible aux tissus ou d'une narcose suffisamment grave pour accroître la probabilité de blessure par accident, diminuer la capacité de fuir ou réduire physiquement l'efficacité au travail, en prenant pour acquis que la TLV quotidienne n'a pas été dépassée. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

Teneur. – Quantité de matière solide, liquide ou gazeuse, rapportée à une masse ou à un volume d'autres matières dans lesquelles elle est en mélange, suspension ou dissolution.

Teneur efficace moyenne. – Dans le cas de la toxicité pour la micro-faune, il s'agit de la teneur à laquelle se produit, chez 50 p. 100 de la population, pour une durée d'exposition donnée, un effet tel que l'immobilisation, la perte de l'équilibre, une déficience de croissance ou même la mort. Abrév. TE 50.

Teneur inhibitrice moyenne. – Dans le cas de la toxicité pour la micro-flore ou la micro-faune, il s'agit de la toxicité qui inhibe à 50 p. 100 une activité biologique (par exemple, la croissance) en un temps déterminé. Abrév. TI 50.

Teneur létale minimale. – Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la teneur définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible teneur (autre que la TL 50) de l'air en une substance dont l'inhalation a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. TL min.

Teneur létale moyenne (1). – Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la teneur à laquelle meurent, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. TL 50.

Teneur létale moyenne (2). – À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la teneur (calculée) de l'air en une substance dont l'inhalation est censée provoquer, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'exposition d'un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. TL 50.

Teneur plafond. – Teneur maximale admissible établie pour une durée d'exposition bien déterminée, dans le cas d'une substance très toxique. (L'IDLH et la TLV®-C sont des teneurs plafonds.)

Teneur toxique minimale. – La plus faible teneur de l'air en une substance à laquelle des personnes ou des animaux ont été exposés, pour quelque période de temps que ce soit, sans qu'il y ait eu d'effet toxique chez les personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. TT min.

Titre (d'une solution, en chimie). – Rapport de la masse d'une substance dissoute à la masse totale ou du nombre de moles d'un constituant au nombre total de moles.

TLV® *(Threshold Limit Value).* – Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle la majorité des travailleurs peuvent être exposés régulièrement à raison de 8 heures par jour, 5 jours par semaine, sans subir d'effet nocif. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

TLV®-C *(Threshold Limit Value-Ceiling).* – Teneur limite admissible pour un moment donné. Il s'agit d'une valeur plafond définie et déterminée par l'ACGIH.

Tolérance moyenne. – Niveau de tolérance correspondant à la teneur à laquelle 50 p. 100 des sujets d'un test survivent au bout d'un temps donné. Abrév. TLm.

SIGLES

ACGIH	American Conference of Government Industrial Hygienists
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWQC	Ambient Water Quality Criteria (USA)
AWWA	American Water Works Association
CBG	Chemical Buyers' Guide (USA)
CCD	Condensed Chemical Dictionary (USA)
CCPA	Canadian Chemical Producers Association
CCT	Commission canadienne des transports
CHRIS	Chemical Hazards Response Information System (USA)
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
ITII	International Technical Information Institute (Japon)
MCA	Manufacturing Chemists Association (USA)
MDT	Ministère des Transports (du Canada)
NACE	National Association of Corrosion Engineers (USA)
NAS	National Academy of Sciences (USA)
NFPA	National Fire Protection Association (USA)
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NRC	National Research Council (USA)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (USA)

1 RÉSUMÉ

1.1 Fluorure d'hydrogène/acide fluorhydrique (HF)

L'acide fluorhydrique ou fluorure d'hydrogène liquide (gaz comprimé) se présente comme un liquide incolore ou blanchâtre. Le fluorure d'hydrogène gazeux est incolore et dégage une odeur âcre et suffocante.

Synonymes
Forme anhydre: hydrogen fluoride (en anglais).
Forme aqueuse: hydrofluoric acid (en anglais).

N^os^ d'identification
UN 1052 (fluorure d'hydrogène); UN 1790 (acide fluorhydrique); CAS 7664-39-3; OHM-TADS 7216750; STCC 4930022 (aqueux); STCC 4930024 (anhydre).

Qualités et titres
Anhydre: titre de 99 à 99,9 p. 100.
Aqueux: titre habituel de 70 p. 100; pouvant varier de 5 à 52 p. 100.

Dangers immédiats
Incendie. – Le fluorure d'hydrogène n'est pas combustible.
Effet sur l'homme. – Le produit est très toxique, s'il y a inhalation, ingestion ou pénétration par l'épiderme.
Effet sur l'environnement. – Le produit est toxique pour les espèces du milieu aquatique, à des teneurs très faibles.

Données relatives aux propriétés physiques

	Anhydre	Aqueux (solution à 70 p. 100)
État à l'expédition	Liquide (gaz liquéfié)	Liquide
État (25 °C; 1 atm)	Gaz	Liquide
Point d'ébullition	19,54 °C	66,4 °C
Point de fusion	- 85,55 °C	- 70 °C
Inflammabilité	Non combustible	Non combustible
Tension de vapeur	103,42 kPa (20 °C)	20 kPa (25 °C)
Masse volumique	0,96 g/ml (liquide à 25 °C)	1,26 g/ml (0 °C)
Comportement dans l'eau	Se dissout, flotte et bouille en dégageant de la chaleur et des vapeurs de fluorure d'hydrogène	Coule et se mélange en produisant des vapeurs de fluorure d'hydrogène
Comportement dans l'air	Se diffuse comme un gaz lourd en demeurant près de la surface du sol	
Plage du seuil de perception par l'appareil olfactif	0,03 à 0,11 mg/m^3	

Dangers pour l'environnement

Le fluorure d'hydrogène présent dans l'eau est nocif pour plusieurs espèces de poisson à des teneurs de 40 mg/l et est également toxique pour d'autres formes de vie aquatique à des teneurs aussi faibles que 10 mg/l. Il est également nocif pour plusieurs espèces végétales lorsque présent sous forme de gaz ou lorsque dissous dans l'eau.

Dangers pour l'homme

Teneur maximale admissible établie par ACGIH (TLV®): 3 ppm (2,5 mg/m^3) (comme F).
Teneur immédiatement dangereuse pour la vie ou la santé (IDLH): 20 ppm (anhydre).
Effets en cas d'inhalation. – La forme anhydre provoque l'irritation des muqueuses, des douleurs à la gorge, un gêne respiratoire, des maux de tête, de la fatigue, un choc, le coma et la mort. Sous forme aqueuse, peut causer des brûlures graves des voies respiratoires et peut également causer une inflammation et une congestion rapide des poumons.
Effets en cas de contact. – La forme anhydre est immédiatement absorbée causant des brûlures graves et des dommages aux tissus. Il brûle les yeux et peut causer des dommages irréversibles. L'absorption d'une faible quantité peut même être fatale. La forme aqueuse provoque des brûlures graves aux yeux et à la peau. L'absorption d'une faible quantité peut causer l'absorption du calcium par le corps et être fatale. L'apparition des symptômes, en ce qui concerne spécialement les solutions diluées (20 à 52 p. 100), peut être retardée de 1 à 8 heures.
Pour les deux derniers cas, la rapidité d'application du traitement est vitale afin de prévenir les dommages.

Dispositions immédiates à prendre

• En cas de déversement.

Interdire l'accès aux lieux où s'est produit l'accident. Signaler: «Produit Corrosif! Poison!» Prévenir le fabricant ou le distributeur. Ne s'approcher de la nappe que muni d'un appareil respiratoire autonome et d'une combinaison entièrement étanche aux produits chimiques. Effectuer l'évacuation en commençant par la zone située sous le vent. Arrêter l'écoulement et confiner la nappe si cela ne présente aucun risque. Éviter tout contact avec le liquide ou les vapeurs. Empêcher toute eau polluée d'atteindre un égout ou un cours d'eau.

• En cas d'incendie

Le produit est non combustible. On doit se munir d'un appareil respiratoire autonome et d'une combinaison entièrement étanche aux agents chimiques. Utiliser un jet d'eau pour rabattre les vapeurs au sol. Toutefois, le jet d'eau ne doit pas être dirigé directement sur les nappes importantes. Refroidir à l'aide d'un jet d'eau les récipients exposés aux flammes tout en se tenant éloigné des extrémités des citernes.

Mesures d'intervention d'urgence

• Fluorure d'hydrogène répandu sur le sol

Contenir le déversement en construisant des barrages. Neutraliser la nappe à l'aide de chaux ou de tout autre matière appropriée. Enlever le polluant neutralisé à l'aide d'appareils aspirateurs ou de pompes. Neutraliser le sol contaminé à l'aide de substances alcalines.

• Fluorure d'hydrogène déversé dans l'eau

Confiner l'eau polluée au moyen d'un dispositif de dérivation ou de barrages. Neutraliser à l'aide de chaux ou de toute autre substance alcaline appropriée.

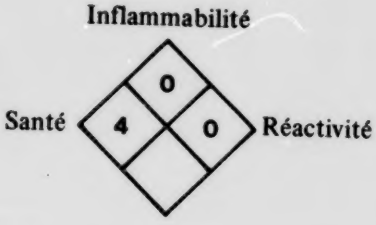
• **Fluorure d'hydrogène sous forme de vapeurs**

Utiliser un jet d'eau pour rabattre les vapeurs au sol. Confiner l'eau de ruissellement afin de pouvoir l'épurer par la suite.

Évaluation du risque selon la NAS (étatsunienne)

(Catégorie)	(Niveau)
Incendie	0
Santé	
Irritation causée par des vapeurs	4
Irritation causée par le produit à l'état liquide ou solide	4
Intoxications	4
Pollution de l'eau	
Toxicité pour l'homme	4
Toxicité pour les espèces vivantes du milieu aquatique	3
Atteinte à l'esthétique de l'environnement	2
Réactivité	
Autres produits chimiques	4
Eau	2
Réaction spontanée	0

Évaluation du risque selon la NFPA (étatsunienne)



2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Propriétés physiques

	Anhydre	Aqueux 70 %
Aspect	Liquide: incolore et fumant (MCA, 1976) Gaz: incolore, mais forme un brouillard blanc au contact de l'air (MCA, 1970)	Liquide fumant, incolore ou blanchâtre (MCA, 1970)
État à l'expédition	Liquide (gaz comprimé)	Liquide
État physique (15 °C; 1 atm)	Gaz	Liquide
Point de fusion	- 83,55 °C (Kirk-Othmer, 1980)	–
Point de congélation	–	- 69 °C (Kirk-Othmer, 1980) - 70,1 °C (MCA, 1970)
Point d'ébullition	19,54 °C (Kirk-Othmer, 1980)	66,4 °C (Kirk-Othmer, 1980)
Tension de vapeur	103,42 kPa (20 °C) (Kirk-Othmer, 1980)	20 kPa (25 °C) (Kirk-Othmer, 1980)
Température de décomposition	~ 4000 °C (Kirk-Othmer, 1980)	–

Densités

	Anhydre	Acide fluorhydrique 70 %
Masse volumique	1,002 g/ml (liquide à 0 °C) (Kirk-Othmer, 1980) 0,9576 g/ml (liquide à 25 °C) (Kirk-Othmer, 1980); (Matheson, 1980) 2,201 kg/dm^3 (gaz à 25 °C) (Matheson, 1980)	1,22 g/ml (25 °C) (Kirk-Othmer, 1980)
Densité relative	1,858 (gaz à 25 °C) (Air = 1) (Matheson, 1980)	1,258 (0 °C) (Eau = 1) (MCA, 1970)

Propriétés relatives à la combustion

Inflammabilité	Non combustible (NFPA, 1978)
Comportement dans un incendie	En présence de chaleur, il y aura dégagement de vapeurs toxiques et irritantes de fluorure d'hydrogène. Il y a également présence d'un danger d'incendie ou d'explosion à cause de la production possible d'hydrogène dans la tuyauterie et les récipients. (Air Products MSDS, 1978)

Autres propriétés

	Anhydre	Acide fluorhydrique 70 %
Masse molaire de la substance pure	20,006 (monomère) (Kirk-Othmer, 1980) À cause d'un phénomène de polymérisation, la vapeur de fluorure d'hydrogène présente une masse molaire de 78,24 au point d'ébullition et de 49,08 à 100 °C. Le monomère ayant une masse molaire de 20 ne sera apparent qu'au-dessus de 200 °C (Kirk-Othmer, 1980; Ullmann, 1975)	
Composition caractéristique de la qualité commerciale	99,99 % HF 0,001 % H_2SiF_6 0,003 % SO_2 0,005 % H_2SO_4 0,0004 % H_2O (Kirk-Othmer, 1980)	70,3 % HF 0,10 % SO_2 0,1 % Acide, non volatil 0,03 % (Fe) (Allied, 1978)
	99,96 à 99,98 % HF 0,02 à 0,002 % H_2O 0,001 à 0,007 % Acide, non volatil (H_2SO_4) 0,003 à 0,004 % SO_2 (Allied, 1978; DuPont DS, 1982)	
Indice de réfraction	1,2675 (10 °C) (CRC, 1980) 1,1574 (liquide à 25 °C) (Kirk-Othmer, 1980)	–
Viscosité	0,256 mPa · s (0 °C) (Kirk-Othmer, 1980)	–
Tension superficielle avec l'air	10,1 x 10^{-4} mN/m (10 °C) (Kirk-Othmer, 1980)	–
Hygroscopicité	Très hygroscopique (Ullmann, 1975)	
Chaleur latente de fusion	3,931 kJ/mol (- 83,55 °C) (Kirk-Othmer, 1980)	–
Chaleur latente de sublimation	7,6 kJ/mol (Perry, 1973)	–
Chaleur latente de vaporisation	7,493 kJ/mol (19,54 °C) (Kirk-Othmer, 1981)	–
Chaleur de formation	- 272,54 kJ/mol (25 °C) (JANAF, 1971)	- 321,9 kJ/mol (25 °C) (Sussex, 1977)
Entropie molaire	173,7 J/mol · °C (gaz idéal à 25 °C) (Ullmann, 1975)	–
Potentiel d'ionisation	16,01 eV (Rosenstock, 1977)	–
Chaleur de dissolution	- 61,5 kJ/mol (25 °C) (CRC, 1980)	–
Chaleur d'hydratation	48,39 kJ/mol (Ullmann, 1975)	–
Capacité thermique molaire		

À pression constante	51,21 J/mol · °C (liquide à 20 °C) (Kirk-Othmer, 1980)	–
	456 J/mol · °C (gaz à 22 °C) (Kirk-Othmer, 1980)	–
À volume constant	46,27 J/mol · °C (gaz à 20 °C) (Kirk-Othmer, 1980)	–
Température critique	188 °C (Kirk-Othmer, 1980)	–
Pression critique	6,480 mPa (Kirk-Othmer, 1980)	–
Conductivité thermique	$2{,}547 \times 10^{-2}$ W/m · K (100,6 °C) (Matheson, 1980)	–
Diffusivité	0,225 cm^2/s (15 °C) (Perry, 1973)	–
Conductivité électrique	$< 1{,}6 \times 10^{-4}$ S/m (DuPont DS, 1982)	0,79 ohm^{-1} cm^{-1} (Kirk-Othmer, 1982)
Teneur de saturation	979 g/m^3 (25 °C) (CRC, 1980)	–
Taux d'évaporation	5,69 g/m^2 · s (20 °C, vent de 4,5 m/s) (présent ouvrage)	–
	0,86 g/m^2 · s (20 °C) (CHRIS, 1974)	–
Moment de dipôle électrique	$6{,}10 \times 10^{-3}$ °C · m (Kirk-Othmer, 1980)	–
Constante diélectrique	83,6 (0 °C) (Kirk-Othmer, 1980)	–

Solubilité

Dans l'eau	Complètement solubles dans l'eau avec dégagement de chaleur (CRC, 1980; MCA, 1970).
Dans d'autres substances courantes	Très solubles dans l'alcool (CRC, 1980) Très solubles dans les alcools, les éthers, les cétons et les nitriles (Ullmann, 1975).
Azéotropes	Une teneur entre 37,7 et 38,2 % de fluorure d'hydrogène forme avec l'eau un azéotrope dont le point d'ébullition se trouve entre 111,4 et 112,2 °C. (DuPont, 1982; Ullmann, 1975)

Structure/Propriétés

Le fluorure d'hydrogène démontre, dans l'air, un degré élevé d'association. En d'autres termes, il se polymérise et on a même identifié un de ces polymères comme H_6F_6. On trouve donc une masse molaire de 78,24 à 20 °C; 49,08 à 100 °C et la vraie masse molaire, soit 20,006, seulement à des températures supérieures à 200 °C. Un des résultats de cette association est que le fluorure d'hydrogène se comporte davantage comme un gaz plus lourd que ce à quoi on s'attendrait sans la connaissance de cette polymérisation (Bailar, 1973; Kirk-Othmer, 1980; Ullmann, 1975).

Cette association est également mise en évidence dans l'eau par la production de formes relativement stables telles que $H_2O \cdot HF$, $H_2O \cdot 2\,HF$ et $H_2O \cdot 4\,HF$ ayant comme résultat de présenter des points de congélation et d'ébullition plus élevés à la teneur où ces formes sont les plus stables (Bailar, 1973; Ullmann, 1975).

3 PRODUCTION, TRANSPORT ET COMMERCE

3.1 Qualités et titres des produits

3.1.1 L'acide fluorhydrique (CCPA, 1982). – L'acide fluorhydrique est principalement produit sous forme d'une solution de fluorure d'hydrogène à 70 p. 100. On produit également des qualités électroniques et des qualités réactifs chimiques dont la teneur varie entre 5 et 52 p. 100 de fluorure d'hydrogène.

3.1.2 Le fluorure d'hydrogène (CCPA, 1982). – Le fluorure d'hydrogène est produit à une teneur allant de 99 à 99,99 p. 100.

3.2 Fabricants situés au Canada (Corpus, 1982; CBG, 1981)

Alcan Smelters & Chemicals Ltd.
C.P. 6090
1 Place Ville Marie
Montréal, Québec
H3C 3H2
(514) 877-2340

Allied Chemical, Division d'Allied Canada, Inc.
201 City Centre Drive
Mississauga, Ontario
L5B 2T4
(416) 276-9211
En cas d'urgence (416) 276-9211

3.3 Autres fournisseurs (Corpus 1982; CBG, 1980; CCPA, 1981)

DuPont of Canada Inc.
555 Boulevard Dorchester Ouest
Montréal, Québec
H3C 2V1
(514) 861-3861

Pennwalt of Canada Ltd.
700 Third Line
Oakville, Ontario
L6J 5A3
(416) 827-9841

Minerals and Chemicals Ltd.
1117 rue Ste. Catherine Ouest
Montréal, Québec
H3B 1H9
(514) 849-6366

3.4 Itinéraires utilisés pour le transport

La production canadienne actuelle de fluorure d'hydrogène et d'acide fluorhydrique est effectuée uniquement au Québec et en Ontario. Les principales usines sont situées à Jonquière, Québec et Amherstburg, Ontario.

Le marché se trouve surtout au Québec et en Ontario. Une petite quantité de la production est expédiée en Colombie-Britannique et en Alberta. Le transport se fait surtout par rail.

3.5 Volume de production (Corpus, 1982)

Société	Ville	Province	Capacité nominale kilotonnes/an (1981)
Alcan Smelters and Chemicals	Jonquière*	Québec	35
Allied Chemical Canada	Amherstburg	Ontario	50
TOTAL			85
Production nationale (1981)			78,5
Importations (1981)			0,5
TOTAL			79,0

* Usine captive

3.6 Fabrication industrielle (Shreve, 1977)

3.6.1 Information générale. – Le fluorure d'hydrogène est produit au Canada par la réaction de l'acide sulfurique avec le fluorure de calcium (fluorine).

3.6.2 Matières premières. – Les matières premières utilisées sont l'acide sulfurique à une teneur allant de 93 à 99 p. 100 et la fluorine de qualité «acide» (> 97 p. 100 de CaF_2).

3.6.3 Procédé de fabrication (Kirk-Othmer, 1980; Shreve, 1977; PB 294276). – L'acide sulfurique et la fluorine sont chargés en continu dans un four rotatif au moyen d'une vis sans fin. Comme la réaction est endothermique, le four est chauffé et la réaction s'effectue à des températures atteignant entre 200 et 250 °C. Le temps de séjour moyen des réactifs est de l'ordre de 30 à 60 minutes, du moment où le mélange fluorine-acide sulfurique est chargé dans le four au moment où il est éjecté à l'autre extrémité par un sas pneumatique sous forme de résidu de sulfate de calcium. Le fluorure d'hydrogène gazeux est retiré à la partie supérieure du four.

$$CaF_2 + H_2SO_4 \rightarrow 2HF\ (\text{gazeux}) + CaSO_4$$

La vitesse de réaction et le rendement en fluorure d'hydrogène de la réaction suivante sont largement déterminés par la dimension des particules de fluorine, de la pureté de la fluorine et par le mixage accordé par le réacteur.

La fluorure d'hydrogène gazeux passe alors dans un condensateur afin d'éliminer l'acide sulfurique, l'acide fluorosulfonique et toutes les particules présentes. L'effluent est alors passé dans un laveur à coke afin d'éliminer les produits organiques. Finalement, l'effluent est nettoyé à l'oléum ou l'acide sulfurique concentré pour éliminer toute trace d'humidité. Pour obtenir le fluorure d'hydrogène anhydre, l'effluent est réfrigéré, liquéfié et ensuite distillé afin d'éliminer les impuretés. Le fluorure d'hydrogène anhydre purifié est alors dirigé vers les réservoirs de stockage ou absorbé dans l'eau pour donner des solutions d'acide fluorhydrique. Le rendement global en fluorure d'hydrogène du procédé varie de 85 à 95 p. 100, dépendant des caractéristiques de la fluorine.

3.6.4 Production de sous-produits. – Les principaux sous-produits sont principalement le sulfate de calcium et le tétrafluorure de silicium provenant du SiO_2 dans les matières premières ne représentant qu'une quantité maximale de 1 p. 100 du produit final. Le tétrafluorure de silicium récupéré est alors hydrolysé pour former de l'acide fluorosilicique.

3.7 **Principales utilisations au Canada** (Corpus, 1982; ECO/LOG, 1981)

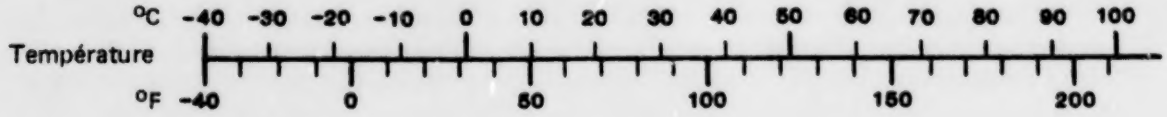
L'acide fluorhydrique et le fluorure d'hydrogène anhydre sont utilisés dans la production du fluorure d'aluminium, de la cryolite synthétique, des chlorofluorométhanes, de l'hexafluorure d'uranium et de l'essence pour véhicules à moteur contenant un alcoylat. Ils sont également utilisés comme agent de décapage dans la fabrication de l'acier inoxydable. En 1981, 40 p. 100 de la production d'acide fluorhydrique canadienne et du fluorure d'hydrogène ont été utilisés dans la production de fluorure d'aluminium, 46 p. 100 ont été exportés, 8 p. 100 ont servi à la production des chlorofluorométhanes et 2 p. 100, à la production d'hexafluorure d'uranium.

3.8 **Principaux acheteurs au Canada** (CBG, 1980; Corpus, 1982)

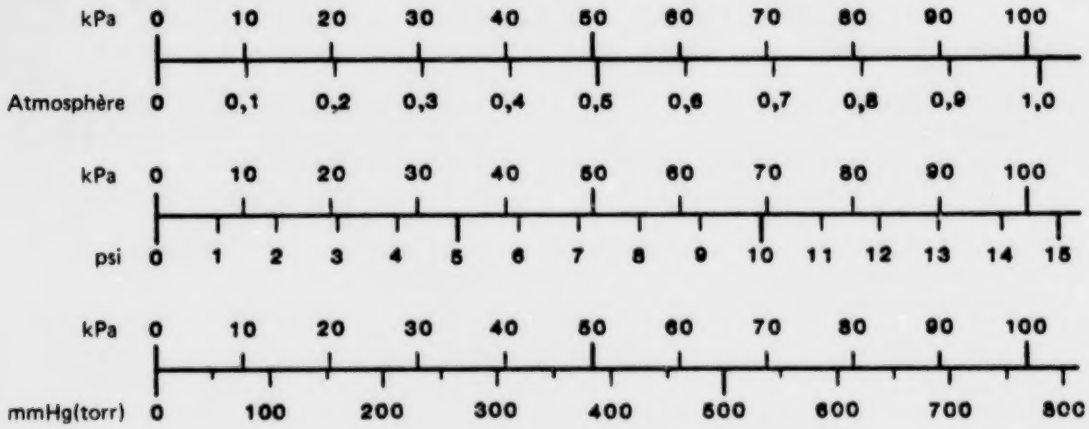
A & K Petro-Chem, Weston, Ont.
Anachemia, Lachine, Qué.
Bayer (Canada), Montréal, Québec
Canada Colors & Chemicals, Toronto, Ont.
Canadian Hanson, Toronto, Ont.
Ciscochem, Brampton, Ont.
DuPont Canada, Maitland, Ont.
Eldorado Nuclear, Port Hope, Ont.
Gulf Canada, Edmonton, Alberta; Clarkson, Ont.
Imperial Oil, Edmonton, Alberta; Sarnia, Ont.
Mackenzie & Feinmann, Vancouver, C.-B.
Minerals & Chemicals, Montréal, Québec
Pétro-Canada, Taylor, C.-B.
Shell Canada, Montréal Est, Québec
Suncor, Sarnia, Ont.

Tableau 1

FLUORURE D'HYDROGÈNE — NOMOGRAMMES DE CONVERSION



Pression — 1 kPa = 1 000 Pa



Viscosité

Dynamique — 1 Pa·s = 1 000 centipoises (cPo)

Cinématique — 1 m^2/s = 1 000 000 centistokes (cSt)

Teneur (de l'air à 20 °C)
1 mg/m^3 = 1,203 ppm
1 ppm = 0,831 mg/m^3

Teneur (de l'eau)
1 ppm ≅ 1 mg/l

Énergie (chaleur) — 1 kJ = 1 000 J

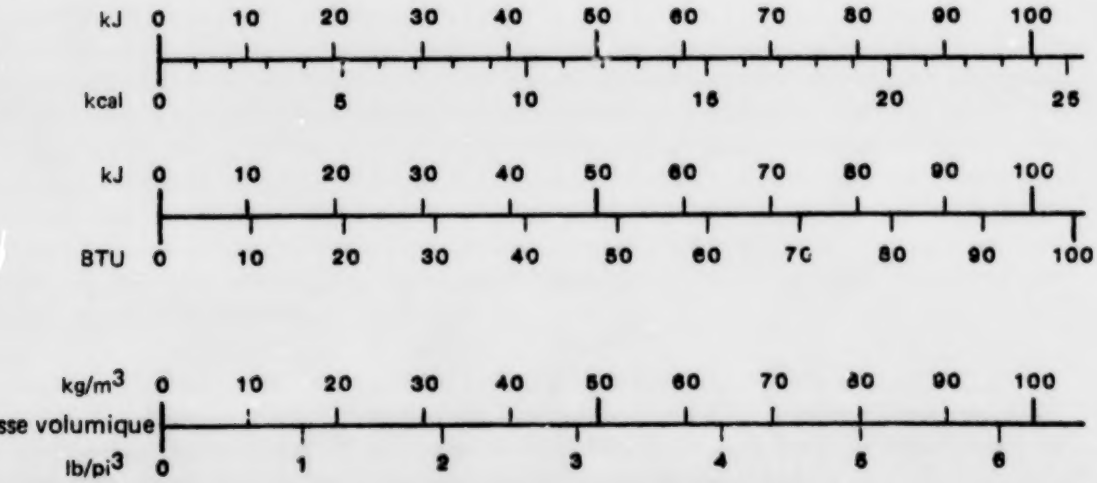


Figure 1

FLUORURE D'HYDROGÈNE (GAZ)

MASSE MOLAIRE APPARENTE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Référence: Ullmann 1975, Bailar 1973

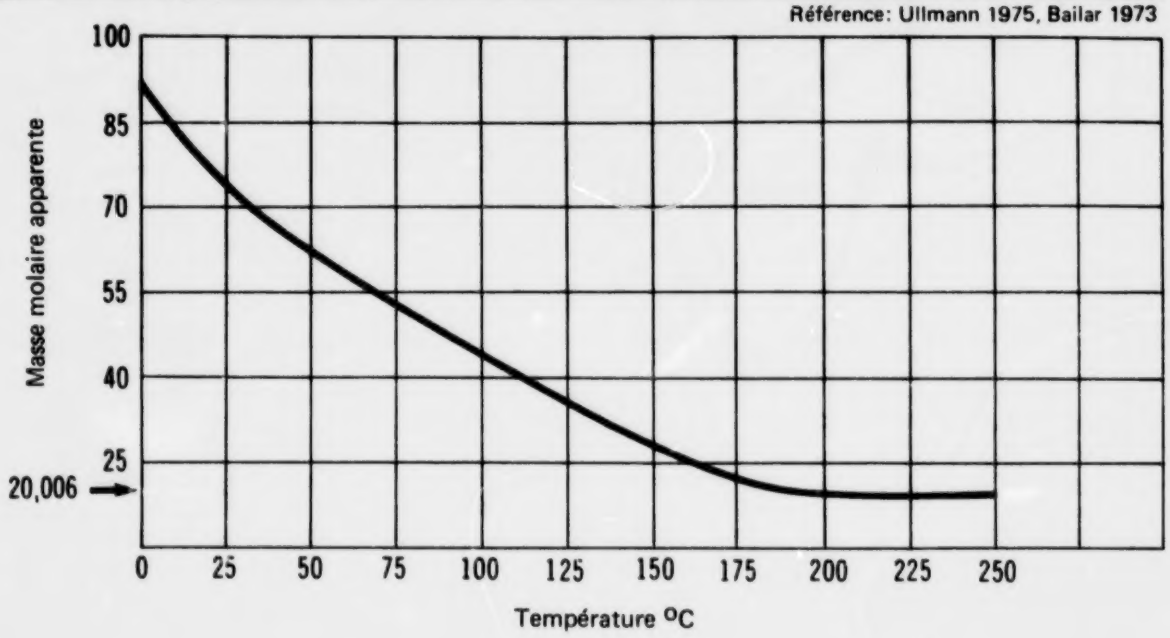


Figure 2

ACIDE FLUORHYDRIQUE

POINT DE CONGÉLATION EN FONCTION DE LA TENEUR EN HF

Référence: DuPont 1982, Ullmann, 1975

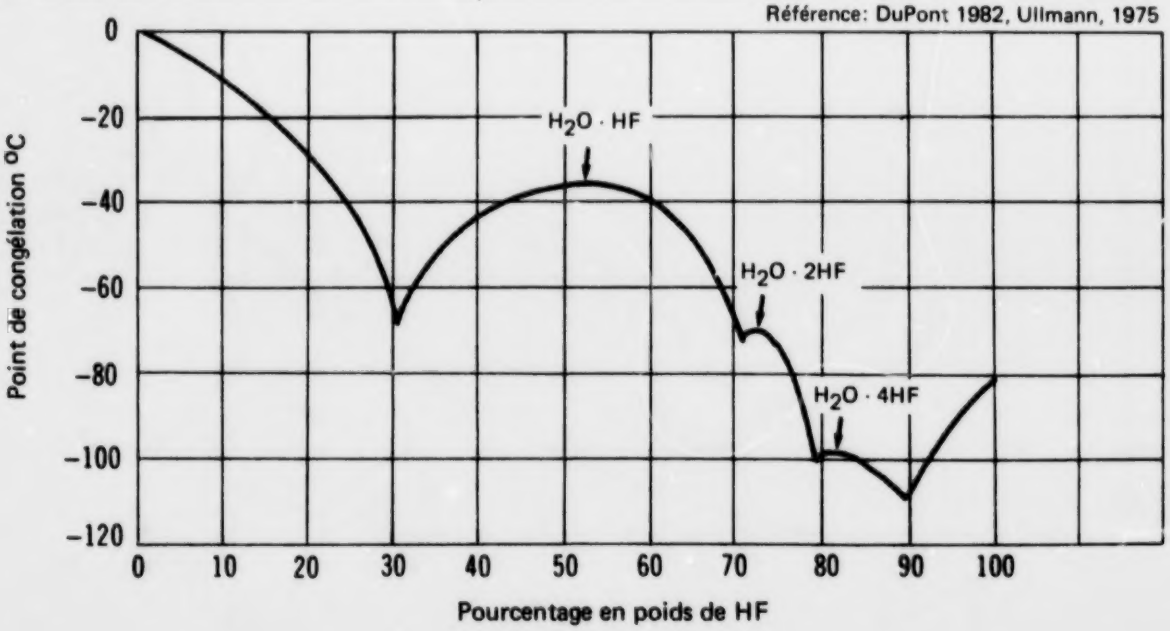


Figure 3

FLUORURE D'HYDROGÈNE
ET ACIDE FLUORHYDRIQUE

MASSE VOLUMIQUE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Référence: Kirk-Othmer, 1980

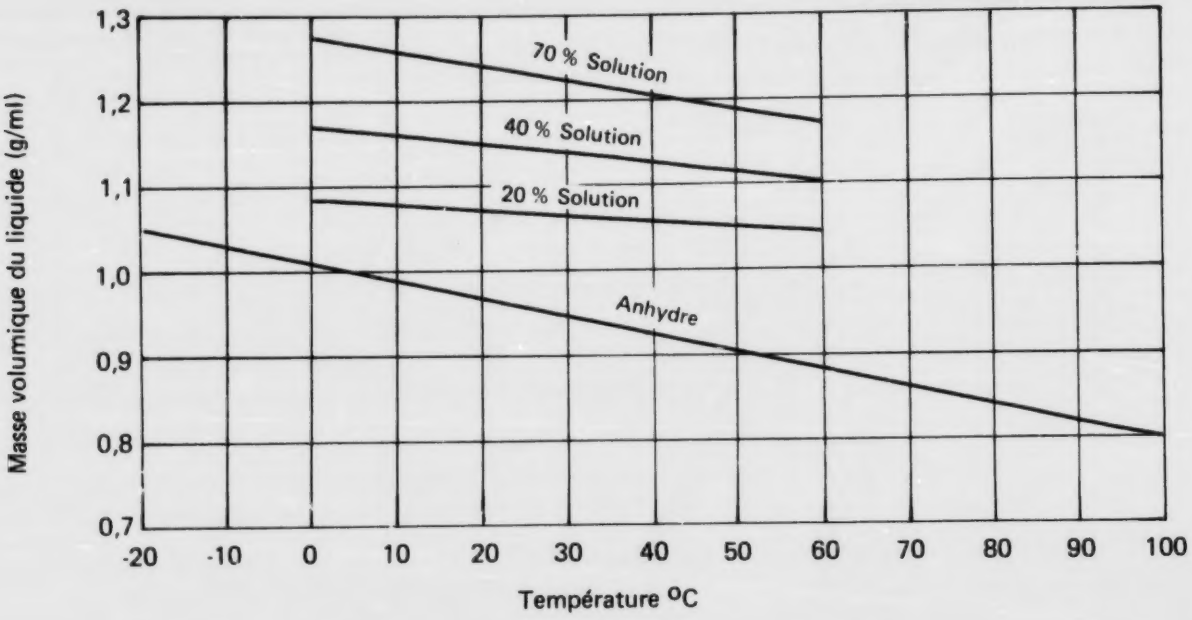


Figure 4

FLUORURE D'HYDROGÈNE

MASSE VOLUMIQUE DE LA VAPEUR SATURÉE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Référence: Kirk-Othmer, 1983

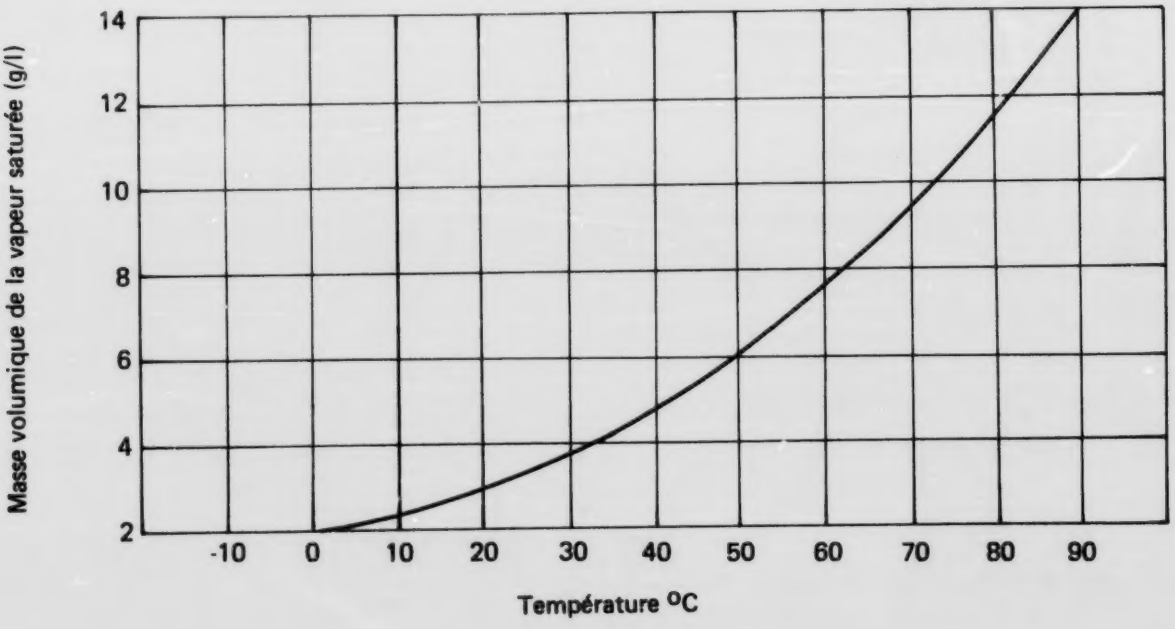


Figure 5

FLUORURE D'HYDROGÈNE

TENSION DE LA VAPEUR EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Références: Chem. Eng., 1974; DuPont, 1982

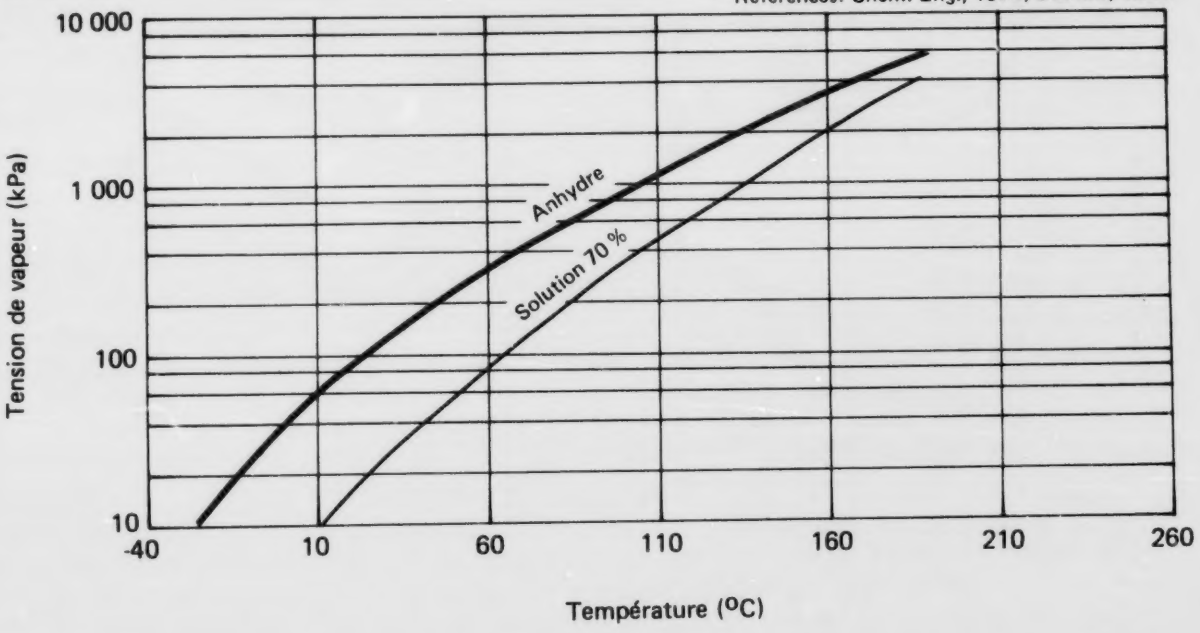


Figure 6

FLUORURE D'HYDROGÈNE

VISCOSITÉ DU LIQUIDE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Référence: Chem. Eng., 1974

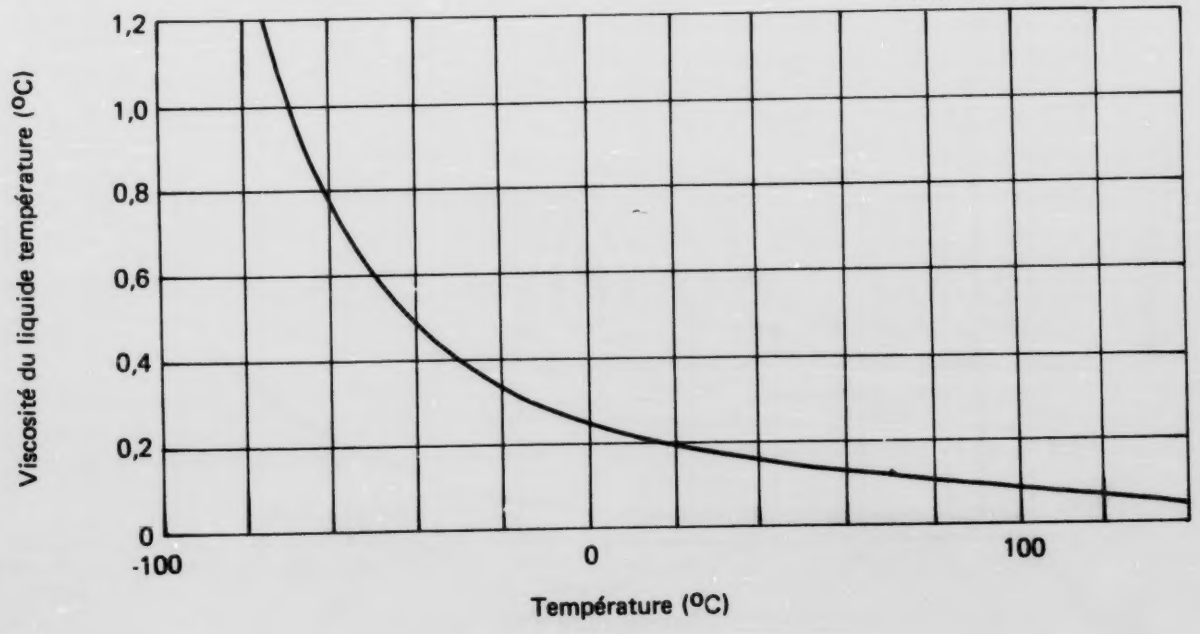


Figure 7

FLUORURE D'HYDROGÈNE

VISCOSITÉ DE LA VAPEUR EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Référence: Chem. Eng., 1974

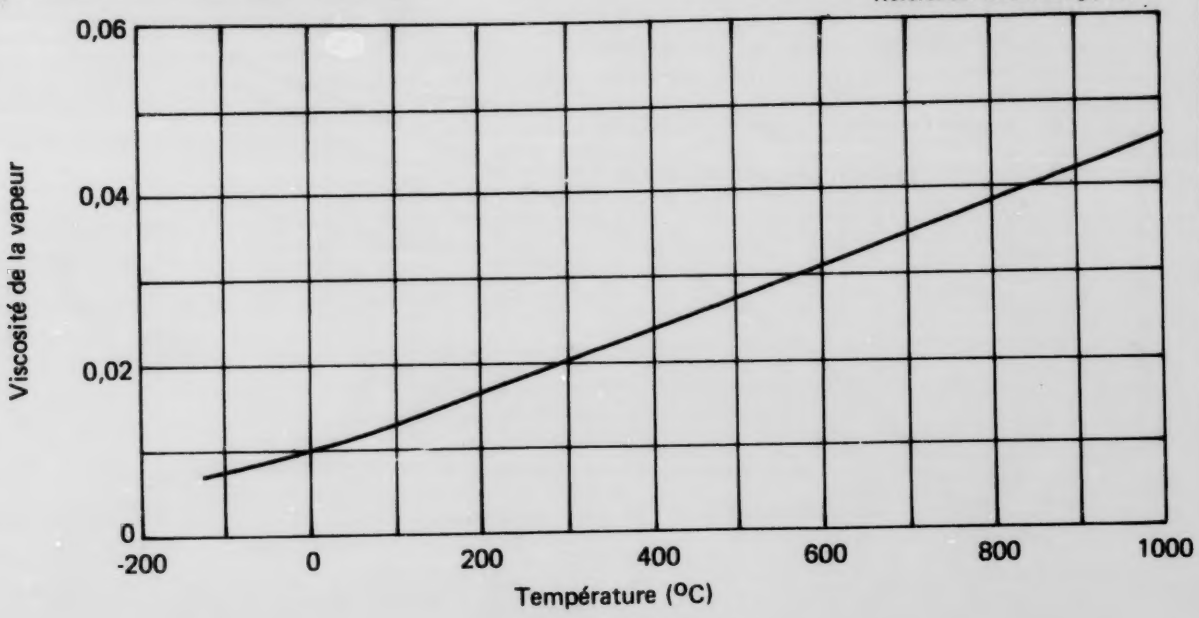
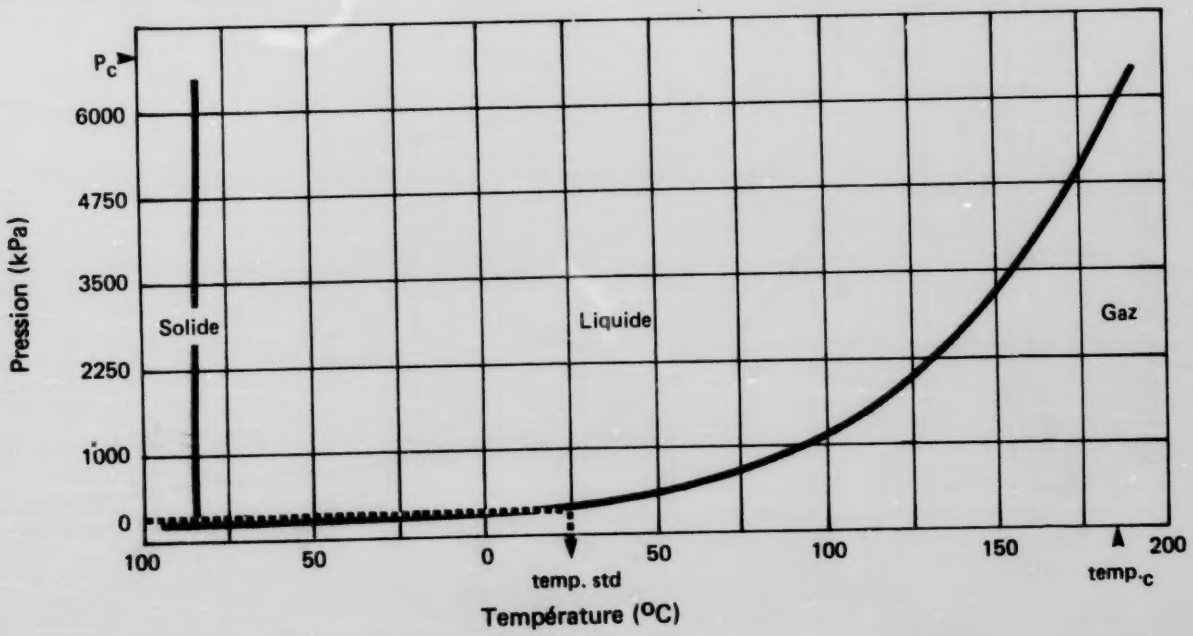


Figure 8

FLUORURE D'HYDROGÈNE

DIAGRAMME DE PHASE



4 MANIPULATION DU PRODUIT ET COMPATIBILITÉ

4.1 Contenants et citernes de transport

4.1.1 Transport en vrac. – L'acide fluorhydrique est transporté en vrac dans des wagons-citernes, des véhicules-citernes routiers et des fûts de polyéthylène.

Le fluorure d'hydrogène est transporté sous forme liquide sous pression dans des wagons-citernes et des véhicules-citernes routiers, et de petites quantités destinées aux laboratoires sont transportées dans des bouteilles.

4.1.1.1 Wagons-citernes. – Les wagons-citernes servant au transport de l'acide fluorhydrique sont décrits au tableau 2.

Le fluorure d'hydrogène anhydre est généralement transporté dans des wagons-citernes de classe 105A300W (ou de classe 105A400W ou de classe 105A500W) ayant des capacités d'environ 18 000 litres (4000 gal), de 36 000 litres (8000 gal), de 41 000 litres (9000 gal), de 45 500 litres (10 000 gal) ou de 73 000 litres (16 000 gal), de même que dans des wagons-citernes de classe 112A400W ayant une capacité d'environ 20 500 litres (4500 gal), 36 000 litres (8000 gal), 73 000 litres (16 000 gal) et 82 000 litres (18 000 gal). C'est la dernière de ces quantités que l'on préférera, pour des raisons d'économie (CCPA, 1982; Allied, 1978; DuPont, 1982). Un wagon-citerne de classe 105A300W type est illustré à la figure 9. Les wagons-citernes d'autres classes utilisés pour le transport du fluorure d'hydrogène anhydre sont de conception et d'aspect semblables. Les spécifications relatives aux wagons-citernes de classe 105A300W sont décrites au tableau 8.

Tableau 2
Spécifications relatives aux wagons-citernes (RTDCR, 1974)

Forme du produit	Spécification du DOT/CCT*	Description
Anhydre	105A300W	Citerne en acier avec dôme. Isolation exigée. Soupape de sûreté réglée à 1550 kPa (225 psi). Déchargement et purge par le bas interdits.
	112A400W	Citerne en acier avec dôme. Non isolé. Soupape de sûreté réglée à 2070 kPa (300 psi). Déchargement et purge par le bas interdits.
	112A400W	Wagon-citerne avec permis spécial. Même que le 112A400W, ci-dessus, mais sans isolation.
	114A400W	Citerne en acier avec dôme. Non isolé. Soupape de sûreté réglée à 2070 kPa (300 psi). Déchargement ou purge par le bas optionnels.
Solutions acides, 60 à 80 %	103AW	Citerne en acier avec dôme. Isolation optionnelle. Soupape de sûreté réglée à 241 kPa (35 psi). Déchargement par le bas interdit. Purge par le bas optionnelle.
	105A100W	Citerne en acier avec dôme. Isolation exigée. Soupape de sûreté réglée à 517 kPa (75 psi). Déchargement et purge par le bas optionnels.

	111A100W2	Citerne en acier sans dôme. Isolation optionnelle. Soupape de sûreté réglée à 517 kPa (75 psi). Déchargement par le bas interdit. Purge par le bas optionnelle.
	111A100W4	Citerne en acier sans dôme. Isolation exigée. Soupape de sûreté réglée à 517 kPa (75 psi). Déchargement et purge par le bas interdits.
Solutions acides, 40 %	103BW	Citerne revêtue de caoutchouc, avec dôme. Isolation optionnelle. Soupape de sûreté réglée à 413 kPa (60 psi). Décharchement et purge par le bas interdits.
	111A100W5	Citerne en acier revêtu de caoutchouc sans dôme. Isolation optionnelle. Soupape de sûreté réglée à 517 kPa (75 psi). Déchargement ou purge par le bas interdits.

*Department of Transportation (U.S.A.)
Commission canadienne des transports

La seule ouverture permise est un trou d'homme situé au centre, au-dessus du réservoir. Cinq soupapes sont installées à l'intérieur du couvercle du dôme, dont quatre sont équipées de robinets coudés à angle droit de 25 mm; la cinquième, au centre, est la soupape de sûreté (MCA, 1970).

Chaque soupape pour le produit liquide est prolongée par une conduite de sortie de 32 mm fixée sur le couvercle du trou d'homme et plongeant jusqu'au fond du réservoir. La soupape de sûreté est du type à ressort et est généralement équipée d'un disque de rupture.

Les wagons-citernes peuvent être munis de citernes revêtues de caoutchouc pour le transport de l'acide fluorhydrique en solution aqueuse d'une teneur pouvant aller jusqu'à 40 p. 100. Des soupapes de sécurité de conception appropriée et équipées de disques de rupture pourront être utilisées. Conformément aux indications du tableau 2, un trou d'homme sans dôme ou une option avec dôme existent suivant la classe de wagon (TCM, 1979).

4.1.1.2 **Véhicules-citernes routiers.** – L'acide fluorhydrique en solution est transporté dans des véhicules-citernes en acier d'une capacité atteignant 18 900 litres, soit 4200 gallons des Etats-Unis (Allied, 1978).

À l'image des wagons de chemin de fer, les véhicules-citernes routiers sont déchargés par le haut et sont généralement équipés d'une conduite qui peut passer par-dessus le réservoir.

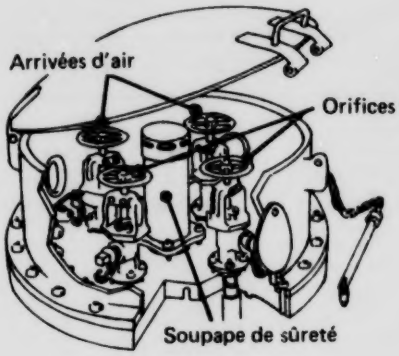
Le déchargement se fait au moyen d'air comprimé. L'entrée d'air est généralement un raccord fileté mâle de 25 mm de diamètre situé au sommet du camion et qui permet d'appliquer une pression ne dépassant pas 207 kPa (30 psi).

Les véhicules-citernes routiers doivent se conformer à la spécification TC312 de Transports Canada décrite au tableau 4. Les solutions d'acide fluorhydrique ne sont pas transportées sous pression. Les citernes des camions doivent avoir fait l'objet d'essais sous pression à 311 kPa (55psi) au minimum de façon à permettre le déchargement par le haut à une pression d'air comprimé de 207 kPa. La pression de service maximum du réservoir est en effet de 207 kPa.

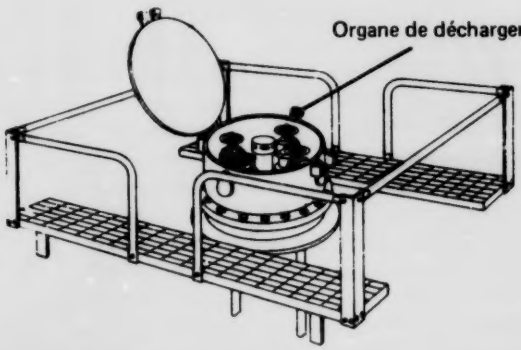
Le chlorure d'hydrogène anhydre est parfois transporté dans des véhicules-citernes routiers du même type que ceux qui servent au transport de l'acide fluorhydrique en solution aqueuse.

Figure 9

(TCM, 1979; RTDCR, 1974)



Détail des organes de déchargement par le haut



Détail de la plate-forme de dôme

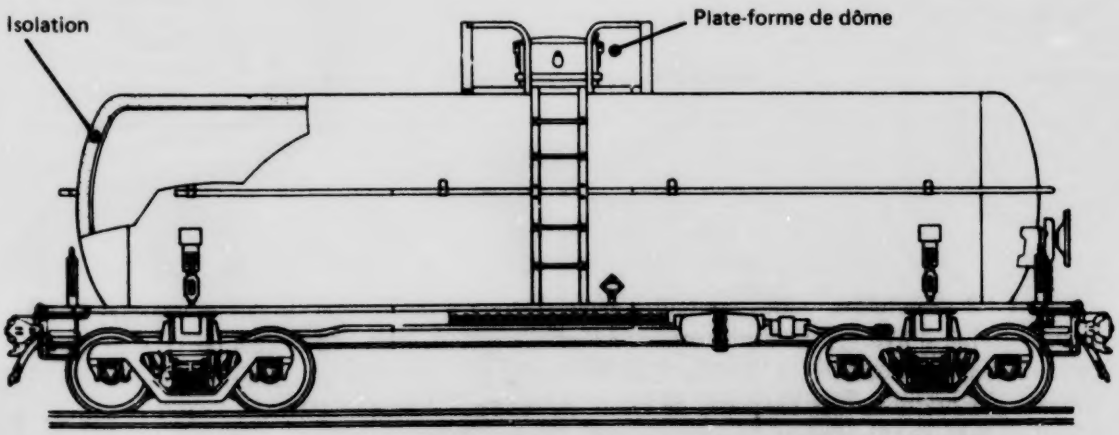


Illustration du wagon-citerne

Tableau 3
Spécifications relatives aux wagons-citernes – classe 105A300W
(TCM, 1979; RTDCR, 1974)

Description	Dimensions du wagon-citerne (gal imp.)		
	9000	21 000	28 000
Structure			
Capacité nominale	41 000 l (9000 gal)	95 000 l (21 000 gal)	127 000 l (28 000 gal)
Tare	30 300 kg (66 800 lb)	40 800 kg (90 000 lb)	50 800 kg (112 000 lb)
Masse brute (max.)	80 300 kg (177 000 lb)	83 500 kg (184 000 lb)	119 000 kg (263 000 lb)
Citerne			
Matériau	Acier	Acier	Acier
Épaisseur	17,5 mm (11/16 po)	17,5 mm (11/16 po)	17,5 mm (11/16 po)
Diamètre int.	2,2 m (88 po)	2,4 m (95 po)	3,0 m (120 po)
Pression d'essai	2070 kPa (300 psi)	2070 kPa (300 psi)	2070 kPa (300 psi)
Pression d'éclatement	51 700 kPa (750 psi)	51 700 kPa (750 psi)	51 700 kPa (750 psi)
Dimensions approximatives			
Longueur avec organes d'attelage	13 m (42 pi)	20 m (65 pi)	20 m (65 pi)
Longueur avec pylônes de choc	12 m (40 pi)	19 m (63 pi)	20 m (64 pi)
Longueur entre pivots de bogie	9 m (29 pi)	16 m (52 pi)	16 m (52 pi)
Hauteur au sommet du caillebotis	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)
Hauteur hors-tout	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)
Largeur hors-tout (avec poignées)	3,2 m (127 po)	3,2 m (127 po)	3,2 m (127 po)
Longueur du caillebotis	2 - 3 m (7 - 10 pi)	2 - 3 m (7 - 10 pi)	2 - 3 m (7 - 10 pi)
Largeur du caillebotis	1,5 - 2 m (5 - 6 pi)	1,5 - 2 m (5 - 6 pi)	1,5 - 2 m (5 - 6 pi)
Chargement/déchargement par le haut			
Soupapes de déchargement	Vanne de vidange de 25 mm (1 po) et clapet de retenue de 32 mm (1 1/4 po) Deux soupapes de déchargement et deux robinets dans la phase gazeuse		
Dispositifs de sécurité	Soupape de sécurité réglée à 1550 kPa (225 psi)		
Isolation	Isolation de liège ou de mousse de 102 mm (4 po)		

4.1.1.3 Bouteilles. – Des bouteilles peuvent servir à transporter de faibles volumes d'acide fluorhydrique anhydre. Celles qui correspondent aux spécifications 4B et 4BA de TC sont les plus couramment utilisées (MCA, 1970). Ces bouteilles sont décrites au tableau 5. Les bouteilles soudées par brasure et les soupapes de sûreté ne sont pas autorisées (MCA, 1970). Les bouteilles sont surtout utilisées pour le service aux laboratoires, la désignation industrielle LB (0,4 kg ou 0,8 lb) et G (5,4 kg ou 12 lb HF) étant la plus courante (Linde, 1982).

Tableau 4
Spécifications s'appliquant aux wagons-citernes

Numéro de la spécification de CCT/DOT*	Description
TC312 (MC312)	Réservoir en acier soudé bout-à-bout. Conception et construction conforme au code de l'ASME lorsque le déchargement se fait sous une pression dépassant 103 kPa (15 psi). Jauge non obligatoire. Orifice de déchargement par le haut et par le bas. Le code ASME exige au minimum une soupape de sûreté par compartiment. Au minimum, un trou d'homme de diamètre de 380 mm (15po) par compartiment. Orifice de lavage par le bas optionnel.

Tableau 5
Spécifications s'appliquant aux bouteilles

Numéro de la spécification de CCT/DOT*	Description
4B	Bouteille en acier soudé et brasé. Pression nominale: entre 1035 kPa et 3450 kPa (150 à 500 psi). La capacité ne doit pas dépasser 450 kg (1000 lb) d'eau.
4BA	Bouteille en acier soudé ou brasé fait en acier répondant à des caractéristiques bien précises. Pression nominale: entre 1550 kPa et 3450 kPa (225 à 500 psi). La capacité ne doit pas dépasser 450 kg (1000 lb) d'eau.

*Department of Transportation (U.S.A.)
Commission canadienne des transports

4.1.2 Récipients utilisés pour l'expédition. – Les récipients en verre sont peu utilisés, et alors uniquement pour les solutions acides à teneur de 52 p. 100 ou moins (CCPA, 1982). Un récipient en polyéthylène (spécification 2 SL) avec couverture extérieure d'acier (spécification 6 D) est fréquemment utilisé. Le récipient a une capacité de 118 kg (260 lb) et ne sert qu'une fois, mais il doit être retourné pour être mis au rebut.

4.2 Déchargement

4.2.1 Matériel et technique de déchargement des wagons-citernes. – Avant de procéder au déchargement, il importe de prendre les précautions suivantes:

- l'emploi d'outils ne faisant pas d'étincelles est recommandé (MCA, 1970);
- en cas de déchargement pendant la nuit, les lumières doivent être de type anti-explosion;
- en aucun cas le personnel ne doit entrer dans le wagon;
- les freins doivent être serrés, les roues, bloquées, des verrous, installés sur les rails et des panneaux d'avertissement, mis en place;
- il doit exister un quai de service offrant toutes les garanties de sécurité au point de déchargement.

Pour décharger le wagon au moyen de gaz comprimé, procéder comme suit (MCA, 1970):

- brancher la tuyauterie de déchargement de 57 mm sur l'orifice de déchargement et raccorder le tuyau d'air comprimé de 25 mm (1 po). La pression de gaz comprimé doit être ramenée à 193 kPa (28 psi) au moment du déchargement. Une soupape de sûreté doit être installée sur la tuyauterie d'air comprimé pour ramener la pression à 207 kPa (30 psi) (MCA, 1970). L'azote sec comprimé ou les hydrocarbures gazeux peuvent être utilisés en plus de l'air comprimé; certains utilisateurs préfèrent les gaz à l'air comprimé car ce dernier peut donner de l'oxygène dissous, ce qui entraîne la corrosion;
- une fois que l'arrivée d'air a été ouverte, le raccord de déchargement peut lui aussi être mis en position ouverte afin de décharger le wagon;
- lorsque le wagon-citerne est vide, l'arrivée d'air doit être fermée et l'évent de la conduite d'air comprimé, ouvert de manière à ce que le circuit soit ouvert sur le système d'absorption de l'acide fluorhydrique;
- procéder en sens inverse pour refermer le wagon-citerne.

Le principe du déchargement des camions-citernes contenant de l'acide fluorhydrique en solution aqueuse est le même que celui des wagons-citernes.

Pour décharger du fluorure d'hydrogène anhydre, on prendra les mêmes précautions que pour l'acide fluorhydrique en solution aqueuse.

Les wagons-citernes peuvent être déchargés à l'aide d'air comprimé ou de gaz inerte (azote ou hydrocarbures gazeux).

Le fluorure d'hydrogène liquide et anhydre est déchargé par l'un des deux robinets d'angle servant à la sortie des liquides. Les méthodes d'ouverture et de fermeture doivent être suivies précisément et dans l'ordre recommandé par le fournisseur. Des soupapes doivent permettre par ailleurs de brancher le circuit sur un système d'absorption du fluorure d'hydrogène. Des manomètres sont nécessaires pour s'assurer que la pression ne tombe pas au-dessous de celle de la vapeur.

Le déchargement par pompe peut être préféré au déchargement par air comprimé pour des raisons de sécurité. Il peut être nécessaire de mettre le wagon quelque peu sous pression pour amorcer la pompe et maintenir la pression dans la citerne. En ce cas, n'utiliser que la pression minimum nécessaire au fonctionnement de la pompe et à la prévention de la formation d'un vide à l'intérieur de la citerne (DuPont, 1982).

Les principes régissant le déchargement des wagons-citernes contenant du fluorure d'hydrogène anhydre sont les mêmes que ceux qui s'appliquent aux wagons-citernes.

4.2.2 Spécifications et matériel de déchargement. – Les matériaux entrant dans la fabrication des systèmes de déchargement ainsi que les spécifications relatives au déchargement sont

ceux que l'on emploie généralement pour le service du fluorure d'hydrogène. On reconnaît que d'autres matériaux peuvent être employés dans des cas particuliers, comme il est indiqué dans la section suivante.

Des joints soudés et des conduites en acier sans soudure correspondant à la jauge 80 de l'ASTM sont recommandés dans le cas de l'acide fluorhydrique. La qualité ARB ou des conduites en acier soudé bout-à-bout sont recommandées pour le fluorure d'hydrogène anhydre. Des joints à brides peuvent être utilisés et ils doivent être soudés. Les raccords filetés ne sont pas recommandés (Allied, 1978; DuPont, 1982). Afin de réduire au maximum la corrosion, les conduites doivent être conçues de manière à être toujours remplies d'acide (Allied, 1978).

Les conduites flexibles servant au déchargement doivent être renforcées et comporter une gaine intérieure en téflon (Allied, 1973).

Des soupapes à pointeau en alliage «20», ou monel, seront bien adaptées à toutes les teneurs en acide à la température ambiante. On trouvera au tableau 6 la description d'autres matériaux possibles. Des chemises de tétrafluoroéthylène sont recommandées (Allied, 1978). Les diaphragmes doivent être fabriqués avec du Kel-f ou un laminé de néoprène et de téflon (DuPont, 1982).

Des rondelles d'étanchéité en fluorure de polyvinylidène peuvent être utilisées pour toutes les teneurs d'acide (DCRG, 1978; CCPA, 1982).

Des pompes de circulation centrifuge dont les pièces en contact avec le liquide sont en acier inoxydable en alliage «20», Hastelloy 6 ou monel, sont recommandées pour le service à la température ambiante. Les joints d'étanchéité sont mécaniques et généralement à refroidissement par eau et doivent être conçus spécialement pour la circulation d'acide fluorhydrique (Allied, 1978; DuPont, 1982). L'acier ne convient pas pour les parties mobiles à ajustage juste parce que l'accumulation de fluorure de fer peut causer le grippage (DuPont, 1982).

Des réservoirs en acier A-285 de qualité C (acier doux calmé) à brides soudées sont généralement utilisés pour le stockage du fluorure d'hydrogène. Comme ce matériel a une limite de service à une température de 65 °C, le monel ou l'Hastelloy sont recommandés pour les températures plus élevées. La capacité nominale atteint environ 57 000 litres (12 500 gallons des États-Unis) (Allied, 1978). Des manomètres, des diaphragmes sensibles à la pression, des capteurs électroniques ou des viseurs optiques étanchéisés au tétrafluoroéthylène peuvent servir à mesurer la quantité d'acide fluorhydrique présente dans le réservoir de stockage (Allied, 1978). Les citernes sont sensibles au cloquage par l'hydrogène et doivent être périodiquement révisées (CCPA, 1982). Des qualités d'acier désulfurisé (< 0,01 p. 100 de 5) sont moins sensibles au cloquage (DuPont, 1982).

4.3 Compatibilité avec les matériaux

La compatibilité de l'acide fluorhydrique avec les matériaux utilisés est indiquée au tableau 6.

Les abréviations qui ne figurent pas entre parenthèses proviennent du tableau 7.

Voici une brève définition du système de cote:

Recommandé: donne satisfaction dans l'utilisation présentée.

Réserves: se détériore dans l'utilisation présentée; approprié dans le cas d'une utilisation intermittente ou de courte durée.

Déconseillé: se détériore rapidement dans l'utilisation présentée; ne devrait jamais être utilisé.

Tableau 6
Compatibilité avec les matériaux

Application	Produit chimique		Matériau		
	Titre	Temp. °C	Recommandé	Réserves	Déconseillé
1. Conduites et raccords	10 %	23	PE	PVC II (DPPED, 1967)	
			ABS*		
			PVC I (DPPED, 1967)		
	10 %	49	PE (DPPED, 1967)		
	10 %	60		PVC I (DPPED, 1967)	PVC II (DPPED, 1967)
	10 % < 30 %	71			ABS (DPPED, 1967) ABS (MWPP, 1978)
	< 30 %	24	PVC I (MWPP, 1978)		
	< 30 %	Jusqu'à la limite de résistance du matériau en cours d'exploitation	PE (MWPP, 1978)		
	37 %	79	PVDC (DCRG, 1978)		
	37 %	93	PP (DCRG, 1978)		
	37 %	121	PVDF		
			CP (DCRG, 1978)		
	48 %	23	PVC I (DPPED, 1967)	PVC II (DPPED, 1967)	
	48 %	60		PVC I (DPPED, 1967)	PVC II (DPPED, 1967)
	48 %	66	PVDC (DCRG, 1978)		
	48 %	93	PP (DCRG, 1978)		
	48 %	107	PVDF (DCRG, 1978)		
	48 %	121	CP (DCRG, 1978)		
	60 %	93	PP (DCRG, 1978)		
	60 %	107	PVDF (DCRG, 1978)		
	60 %	121	CP (DCRG, 1978)		
	70 %	< 120	PVDC (MCA, 1970)		
	100 % (anhydre)	93	PP		
			PVDF (DCRG, 1978)		
	100 % (anhydre)	Inc.	Téflon (DuPont, 1982)		CP (DCRG, 1978)
	100 % (anhydre)	24	PVC I (MWPP, 1978)		PE (MWPP, 1978)
2. Soupapes	< 10 % ou < 60 %	21	SS J-20 (JSSV, 1979)		SS 316 (JSSV, 1979)

*Un autre ouvrage de référence a attribué à ce matériau une cote inférieure pour une utilisation semblable.

Tableau 6
(suite)

Application	Produit chimique		Matériau		
	Titre	Temp. °C	Recommandé	Réserves	Déconseillé
3. Pompes	Se reporter à la section 4.2.2				
4. Entreposage	Se reporter à la section 4.2.2				
5. Autres	Ensemble	20			SS 302 SS 304 SS 316 SS 410 SS 430 (ASS) Cuir Caoutchouc Verre Béton (Allied PSDS, 1979) Fonte SS 400 Aciers durcis (DuPont, 1982)
	Dilué	22	PVC CPVC (TPS, 1978)		
	Dilué	23	PP (TPS, 1978)		
	Dilué	100	PP (TPS, 1978)		
	30 %	22	PVC CPVC (TPS, 1978)		
	30 %	49	PP (TPS, 1978)		
	30 %	66	PVDF (TPS, 1978)	PP (TPS, 1978)	
	40 %	22	PVC CPVC (TPS, 1978)		
	40 %	49	PP (TPS, 1978)		
	40 %	66		PP (TPS, 1978)	
	jusqu'à 40 %	20	uPVC PE PP CSM (GFPS)	NR IIR EPDM CR FPM (GFPS)	POM NBR (GFPS)
	40 %	60	PE PP (GFPS)	uPVC FPM CSM (GFPS)	POM NR NBR IIR EPDM CR (GFPS)
	50 %	22	PVC CPVC (TPS, 1978)		
	50 %	23	PP		

Tableau 6
(suite)

Application	Produit chimique		Matériau		
	Titre	Temp. °C	Recommandé	Réserves	Déconseillé
	50 %	60			PVC (TPS, 1978)
	60 %	20	PE	IIR	uPVC
			PP (GFPS)	EPDM	POM
				FPM	NR
				CSM (GFPS)	NBR
					CR (GFPS)
	70 %	20		PE	uPVC
				PP	POM
				IIR*	NR
				EPDM*	NBR
				CSM* (GFPS)	CR
					FPM (GFPS)
					SBR
					IIR
					CSM
					EPDM (GPP)
	> 70 %	Varie	CS faible (MCA, 1970)		Cuivre, alliages de cuivre, fonte
					Aciers inox. type 400, aciers durcis (DuPont, 1982)
			Inconel	Aciers au carbone	Laiton jaune
			Hastelloy B, C, D	pauvres (à 150 °C)	Plomb
			Nickel	Karbate (70 °C)	Fonte
			Ni-resisit	Conduites	Fer à haute teneur
			Carpenter 40	revêtues de saran	en silicium
			Durimet 20	(70 %, <49 °C)	Aluminium
			Magnesium		Aciers inox.
			Chlorimet 2 et 3		Tantalium
			PE		Titanium
			uPVC		Zirconium
			Fluorocarbures		Caoutchouc
			Platine		Verre
			Molybdène		Céramique
					Résines époxydes
					Amiante
	< 70 %	Varie	Magnesium (MCA, 1970)		Acier
			Nickel (plus de 10 % < 100 °C)		Aciers inox.
					Ni-resisit
			Plomb (qualité chimique, < 60 %, < 100 °C)		Fonte
					Fer à haute teneur en silicium
			Argent		Verre
			Carpenter 20		Céramique
			Alliage cuivre et nickel à 70 - 80		Aluminium

Tableau 6
(suite)

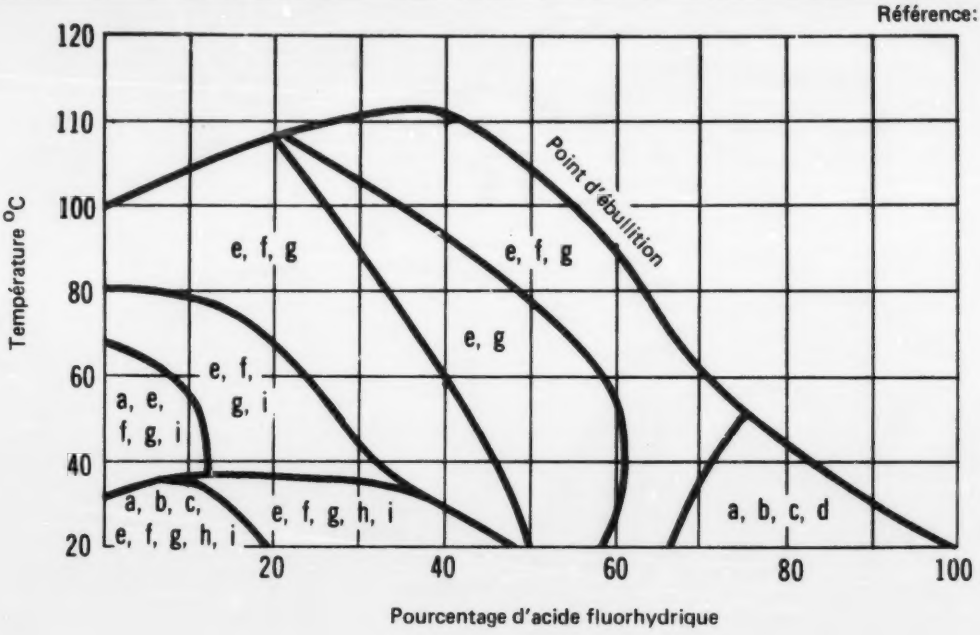
Application	Produit chimique		Matériau		
	Titre	Temp. °C	Recommandé	Réserves	Déconseillé
			Magnesium (< 85 °C) Hastelloy B, C, D Karbate Néoprène (< 50 %, < 60 °C) Acier revêtu de caoutchouc butyl (< 60 %, < 60 °C) Ciment au soufre avec carbone Conduites revêtues de saran Polypropylène Fluorure de vinylidène Fluorocarbures Platine		Inconel (< 10 %, < 77 °C) Bois Tantalium Titanium Zirconium Asbeste
	> 10 % < 10 %	< 100 < 77	Nickel (MCA, 1970)		Inconel (MCA, 1970)

Figure 10

FLUORURE D'HYDROGÈNE

MATÉRIAUX AYANT UN TAUX DE CORROSION INFÉRIEUR À 0,5 mm (0,02 po) PAR ANNÉE

Référence: DuPont, 1982



a) Carpenter
b) Worthite
c) Durimet
d) Acier au carbone
e) Cu-Ni CA 715
f) Cuivre (sans air, faible vitesse)
g) Plomb (sans air, faible vitesse)
h) Nickel (sans air)
i) Nordel

Dans tous les cas:
Chlorimet 3
Hastelloy C
Monel 400
Or
Argent
Platine
Téflon

Tableau 7
Matériaux

Abréviation	Matériaux
ABS	Acrylonitrile-butadiène-styrène
NBR	Acrylonitrile/butadiène (Nitrile, Buna N)
CS	Acier au carbone
CP	Polyéther chloré
CPVC	Chlorure de polyvinyle chloré
CSM	Polyéthylène chlorosulphonique (Hypalon)
EPDM	Caoutchouc d'éthylène-propylène
FEP	Éthylène propylène fluoré
FPM	Caoutchouc fluoré (Viton)
IIR	Isobutylène/isoprène (Butyle)
NR	Caoutchouc naturel
CR	Polychloroprène (Néoprène)
PE	Polyéthylène
POM	Polyoxyméthylène
PP	Polypropylène
PVC (suivi éventuellement de l'indication de la qualité)	Chlorure de polyvinyle
PVDC	Chlorure de polyvinylidène (Saran)
PVDF	Fluorure de polyvinylidène
SBR	Styrène/butadiène (GR-5, Buna S)
SS (suivi de l'indication de la qualité)	Acier inoxydable
TFE	Tétrafluoroéthylène (Téflon)
uPVC	Chlorure de polyninyle non plastifié

5 MIGRATION DES POLLUANTS

5.1 Résumé

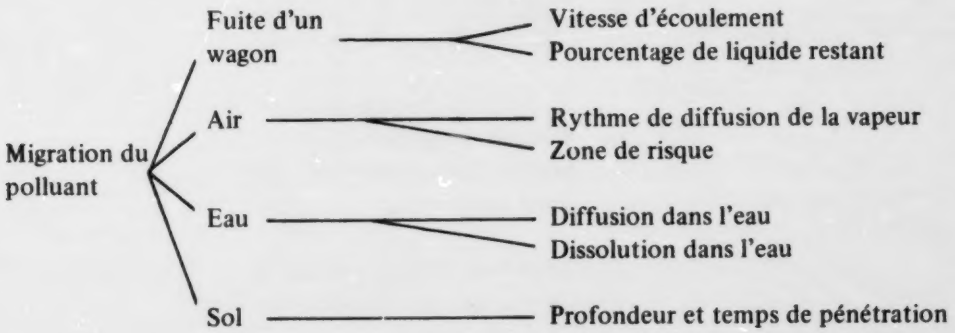
Le fluorure d'hydrogène est couramment transporté dans des réservoirs sous forme de gaz liquéfié. En cas de déversement, il forme une nappe liquide qui se répand à la surface de l'eau ou sur le sol, ainsi qu'un brouillard de vapeur. La nappe liquide dégage rapidement de la vapeur dans l'atmosphère par évaporation.

Déversé dans l'eau, il se dissout en partie et le reste s'évapore dans l'atmosphère. Les nuages de vapeur ont tendance à s'étendre au ras du sol plutôt que de se disperser en s'élevant dans l'air.

Lorsque le fluorure d'hydrogène se répand sur le sol, une partie s'évapore et une autre partie est absorbée par le sol à une vitesse qui dépend du type de celui-ci et de son degré de saturation en eau. Le déplacement vertical du liquide vers la nappe phréatique peut présenter des problèmes pour l'environnement.

L'acide fluorhydrique se comporte de la même façon lorsqu'il est déversé, mais moins de fluorure d'hydrogène est libéré sous forme de vapeurs.

Voici les facteurs à prendre en considération lorsque ce produit se répand dans l'air, dans l'eau ou sur le sol:



5.2 Nomogrammes des fuites

5.2.1 Introduction. – Les nomogrammes de fuite du fluorure d'hydrogène anhydre à partir des wagons-citernes sont donnés dans la présente section. La capacité des wagons-citernes varie beaucoup, mais l'on a choisi une taille bien précise pour établir les nomogrammes de fuite. Le wagon-citerne choisi a environ 2,75 mètres de diamètre et 13,4 mètres de long et peut contenir environ 80 000 litres.

Si le fond d'un wagon rempli de fluorure d'hydrogène est percé, il se videra totalement sous l'action de la gravité. La vitesse d'écoulement instantanée est fonction de la hauteur du liquide au-dessus du trou, de la pression interne du réservoir, de la taille du trou et de sa forme, ainsi que d'un coefficient de débit. Pour préparer les nomogrammes, on a supposé que le coefficient de débit était une constante, égale à 0,8.

Si le wagon est percé au sommet ou à tout autre endroit situé au-dessus du niveau du liquide, le gaz s'échappera jusqu'à ce que la totalité du liquide soit évaporée et que les pressions à l'intérieur et à l'extérieur du réservoir soient en équilibre. Pour préparer les nomogrammes, on est

parti du principe que le liquide est à température constante (isothermique), égale à la température ambiante. En conséquence, la vitesse d'échappement du gaz est supposée constante jusqu'à ce que la totalité du liquide soit évaporée. La vitesse d'échappement est fonction de la pression à l'intérieur du réservoir qui est égale à la tension de vapeur saturée du liquide à la température ambiante. On suppose que la température ambiante maximum du réservoir est de 40 °C, ce qui donne une tension de vapeur saturée de 200 kPa.

L'hypothèse isothermique, qui maximise la vitesse de diffusion du gaz qui s'échappe du réservoir, donnera généralement des chiffres traduisant les pires scénarios. Comme le point d'ébullition du fluorure d'hydrogène anhydre est de 19,54 °C, l'évaporation refroidira rapidement le liquide, une fois le point d'ébullition dépassé. Il en résultera une perte par évaporation notablement inférieure à celle qui avait été prévue dans le modèle isothermique. Il est estimé que le temps d'évaporation des gaz prédit ci-après sera juste dans les cas où le wagon-citerne n'est pas isolé ou a perdu une bonne partie de son isolation et de plus, est touché par un incendie qui compensera le refroidissement par évaporation. Il est aussi estimé que les temps d'évaporation prédits seront 10 fois plus longs si le wagon-citerne a perdu la plupart de son isolation et si la température ambiante est élevée; ils seront de 2 à 4 ordres de grandeur plus longs si le wagon-citerne a perdu moins d'isolation et si la température ambiante est moins élevée, et de 4 à 7 ordres de grandeur plus longs si le wagon-citerne a perdu très peu d'isolation et si la température ambiante est basse.

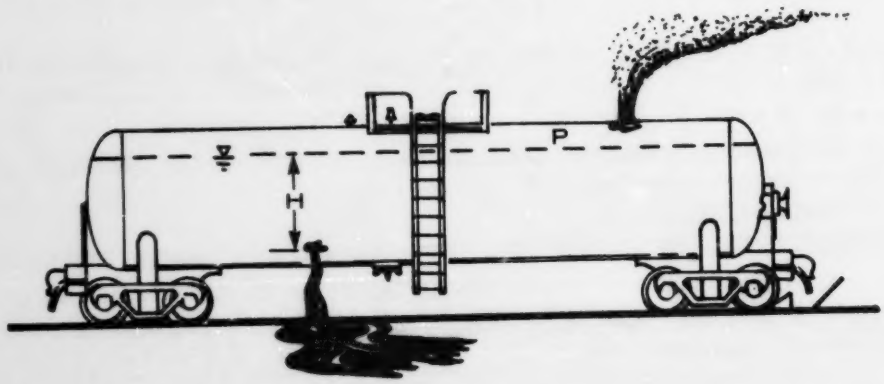


FIGURE 11 WAGON-CITERNE PERCÉ DANS LE BAS OU DANS LE HAUT

Les nomogrammes doivent permettre de calculer simplement les quantités qui se sont échappées à partir du moment où le trou a été percé. Il peut s'agir d'un écoulement de liquide par le bas ou d'un échappement de gaz par le haut. On trouvera les calculs détaillés dans le guide d'introduction.

5.2.2 Nomogrammes

5.2.2.1 Trou dans le fond du wagon. – Écoulement de liquide

5.2.2.1.1 Figure 12: Pourcentage du liquide restant en fonction du temps. – La figure 12 permet d'estimer la proportion de liquide restant dans le wagon-citerne après la formation de

trous ayant différents diamètres. Le diamètre du trou est en réalité un diamètre équivalent et peut s'appliquer à un trou non circulaire.

On suppose que le wagon-citerne type (2,75 mètres ϕ x 13,4 mètres de long) est initialement plein (à temp. = 0) et contient environ 80 000 litres de fluorure d'hydrogène à 40 °C. La quantité restante après un temps donné (t) n'est pas seulement fonction de la vitesse d'écoulement, mais aussi de la taille et de la forme du wagon-citerne.

5.2.2.1.2 **Figure 13: Débit de fuite en fonction du temps d'écoulement.** – La figure 13 permet d'estimer le taux d'écoulement maximum (l/s) pour un certain nombre de trous de diamètre équivalent. La force de la gravité étant supérieure à celle qu'exerce la pression, le taux d'écoulement reste relativement constant à mesure que le réservoir se vide.

5.2.2.2 **Trou pratiqué au sommet du réservoir.** – Échappement de gaz

5.2.2.2.1 **Figure 14: Pourcentage de liquide restant en fonction du temps.** – La figure 14 permet d'estimer le pourcentage de fluorure d'hydrogène restant dans le wagon-citerne type après la formation de trous ayant des diamètres différents. Les diamètres sont en réalité des diamètres équivalents et peuvent s'appliquer à des trous non circulaires.

Des conditions isothermiques ont été prises comme hypothèse, la pression interne et le débit de fuite étant constants. Les utilisateurs noteront que le temps d'écoulement peut être plus long que prévu plus haut.

5.2.2.2.2 **Figure 15: Débit de fuite en fonction du diamètre équivalent du trou.** – La figure 15 rapproche le débit de fuite (kg/s) du diamètre équivalent du trou par lequel s'échappe le gaz au-dessus du niveau du liquide dans le wagon-citerne. Les dimensions du trou étant données, le débit de fuite restera constant tant que le liquide s'évaporera. Cette condition est conforme à l'hypothèse des qualités isothermiques du réservoir et permet de calculer le débit de fuite du gaz avec une marge de précaution.

Les chiffres fournis par la figure 15 sont indépendants de la taille du wagon-citerne mais s'appuient sur l'hypothèse que la température du liquide est de 40 °C, d'où une pression de vapeur saturée de 200 kPa. Les utilisateurs noteront que le temps d'écoulement peut être plus long, comme il est indiqué plus haut.

5.2.3 **Exemple de calcul**

PROBLÈME A

Le fond d'un wagon-citerne type (2,75 m ϕ x 13,4 m de long) rempli de fluorure d'hydrogène à 40 °C est percé. Le diamètre équivalent du trou est de 150 mm. Quelle proportion des 80 000 litres qu'il contenait à l'origine restera au bout de 10 minutes et quel est le débit instantané du liquide qu'il contient?

Solution du problème A

Première étape

Calculer la quantité restante au bout de 2 minutes.

Voir figure 12.

Au bout de 2 minutes, le diamètre étant égal à 150 mm, la quantité restante est d'environ 58 p. 100, soit 46 000 litres.

Deuxième étape

Calculer le débit de fuite.

Figure 12

FLUORURE D'HYDROGÈNE

POURCENTAGE DU LIQUIDE RESTANT EN FONCTION DU TEMPS

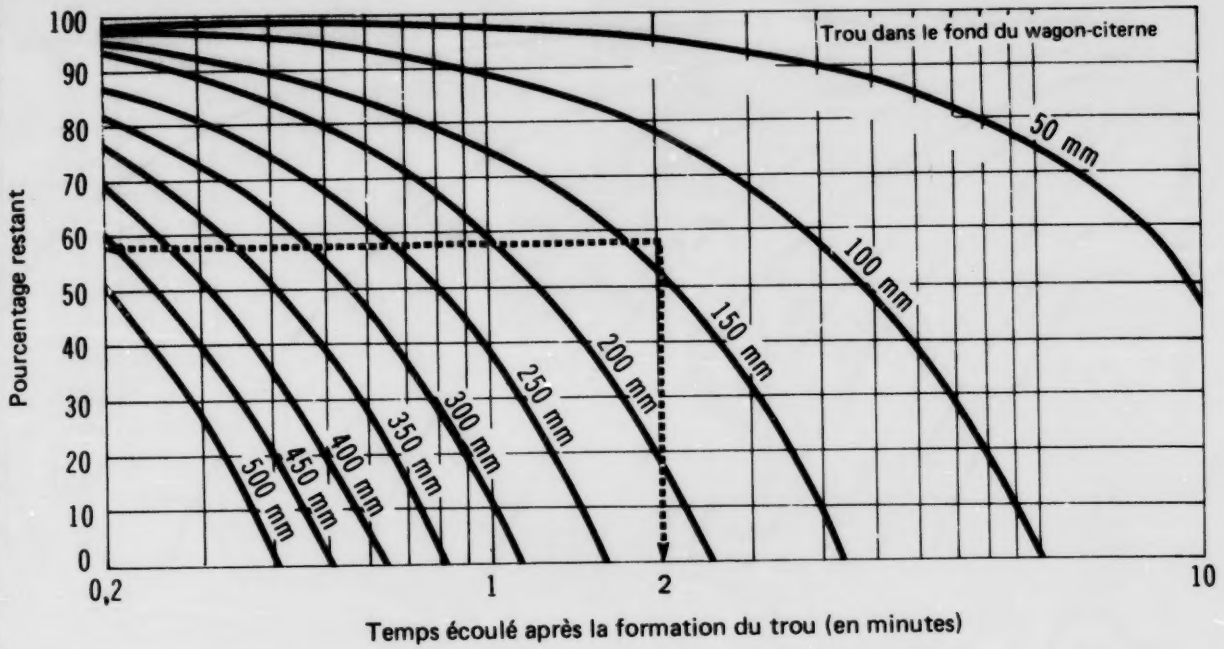


Figure 13

FLUORURE D'HYDROGÈNE

VITESSE D'ÉCOULEMENT EN FONCTION DE LA TAILLE DU TROU

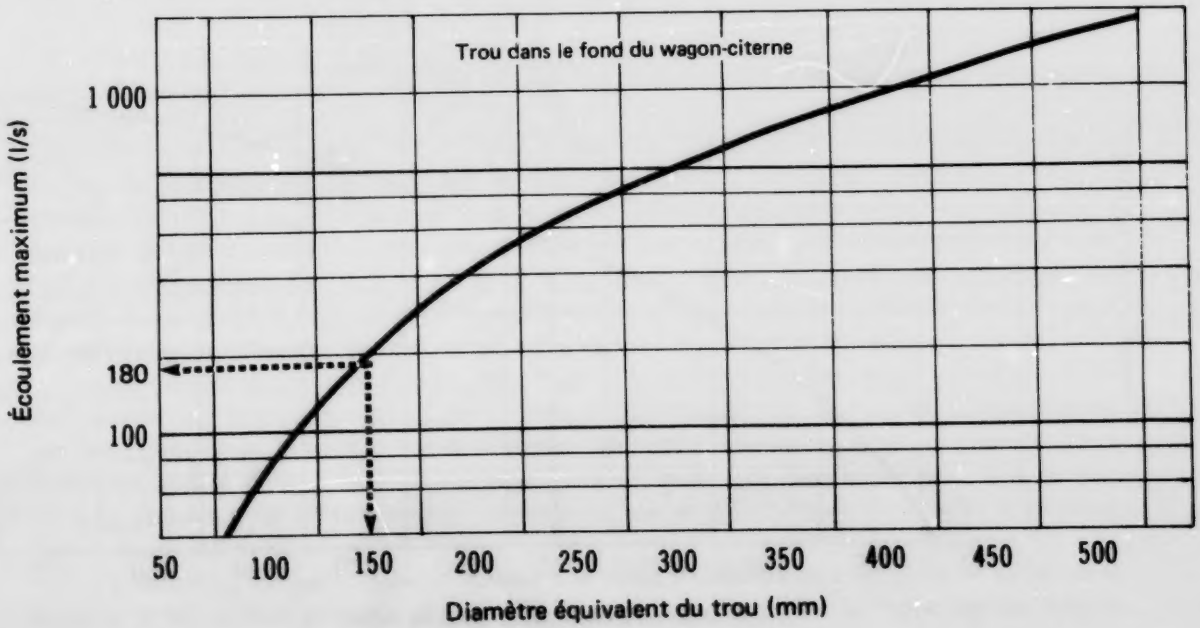


Figure 14

FLUORURE D'HYDROGÈNE

POURCENTAGE DU LIQUIDE RESTANT EN FONCTION DU TEMPS

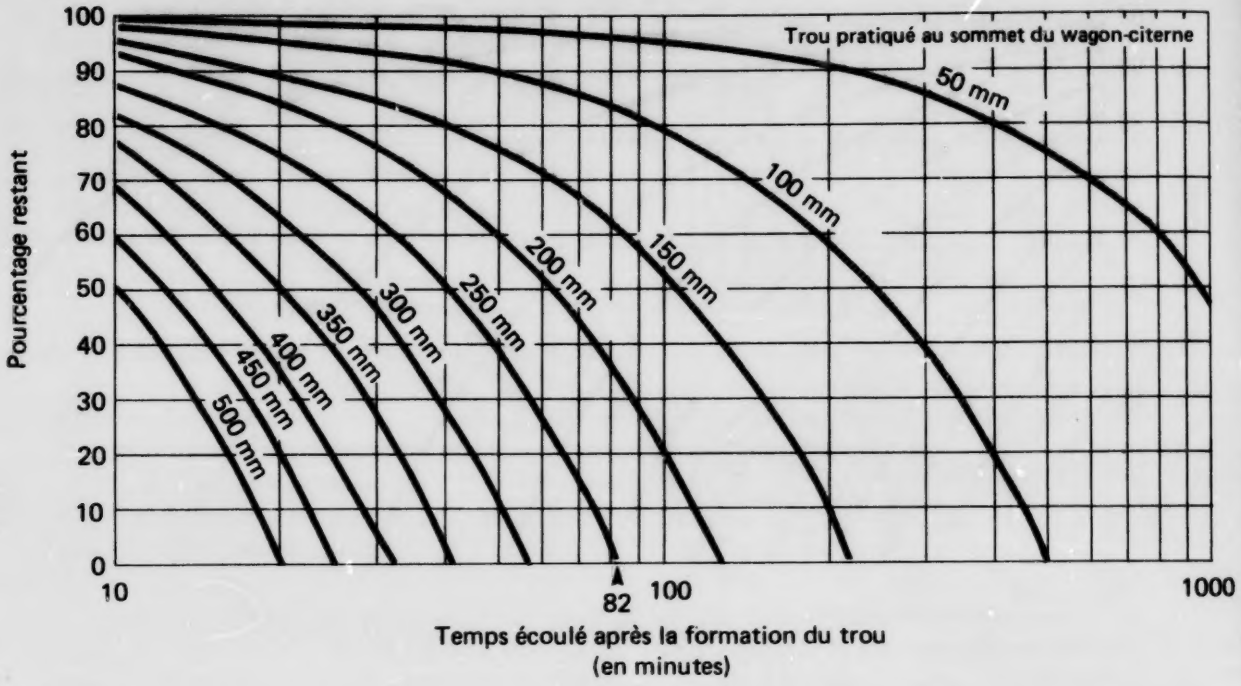
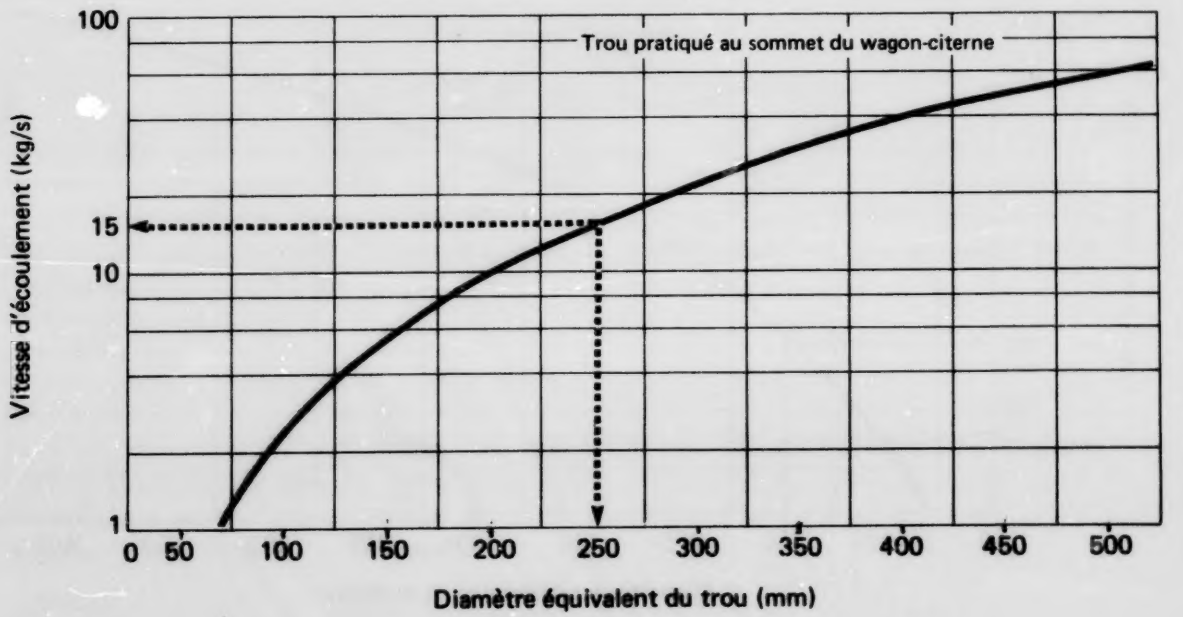


Figure 15

FLUORURE D'HYDROGÈNE

VITESSE D'ÉCOULEMENT EN FONCTION DE LA TAILLE DU TROU



Voir figure 13.
Le diamètre étant égal à 150 mm, le débit instantané est de 180 l/s.

PROBLÈME B

Le wagon-citerne type qui fait l'objet du problème A est percé au-dessus du niveau du liquide. Le diamètre équivalent de l'orifice est évalué à 250 mm. Combien faudra-t-il de temps pour que le wagon-citerne se vide et quelle sera la vitesse d'échappement du gaz en supposant que les conditions sont isothermiques?

Solution du problème B

Première étape

Calculer le temps nécessaire pour que le wagon-citerne se vide.
Voir figure 14.
Le diamètre étant égal à 250 mm, le réservoir se vide (0 p. 100 du liquide restant) en 82 minutes environ.

Deuxième étape

Calculer la vitesse d'échappement.
Voir figure 15.
Le diamètre étant égal à 250 mm et les conditions étant isothermiques, la vitesse d'échappement est constante et égale à 15 kg/s.

5.3 Diffusion dans l'atmosphère

5.3.1 Introduction. – Même si le fluorure d'hydrogène anhydre est un liquide relativement volatil (point d'ébullition: 19,5 °C) l'échappement de vapeur dans l'atmosphère, directement à partir du trou d'un réservoir percé, n'est pas étudié dans la présente section. Seules les vapeurs dégagées par une nappe liquide répandue sur le sol ou sur un plan d'eau seront traitées ici. L'évaporation peut être calculée en utilisant le débit instantané donné à la figure 15 et en utilisant la méthode décrite ci-après.

Les déversements d'acide fluorhydrique peuvent être traités de la même manière que ceux du fluorure d'hydrogène anhydre. L'acide fluorhydrique étant moins volatil que le fluorure d'hydrogène anhydre, les chiffres donnés par les nomogrammes et les tableaux de dispersion de la vapeur pour le fluorure d'hydrogène anhydre contribueront à en surestimer les risques en cas de déversement.

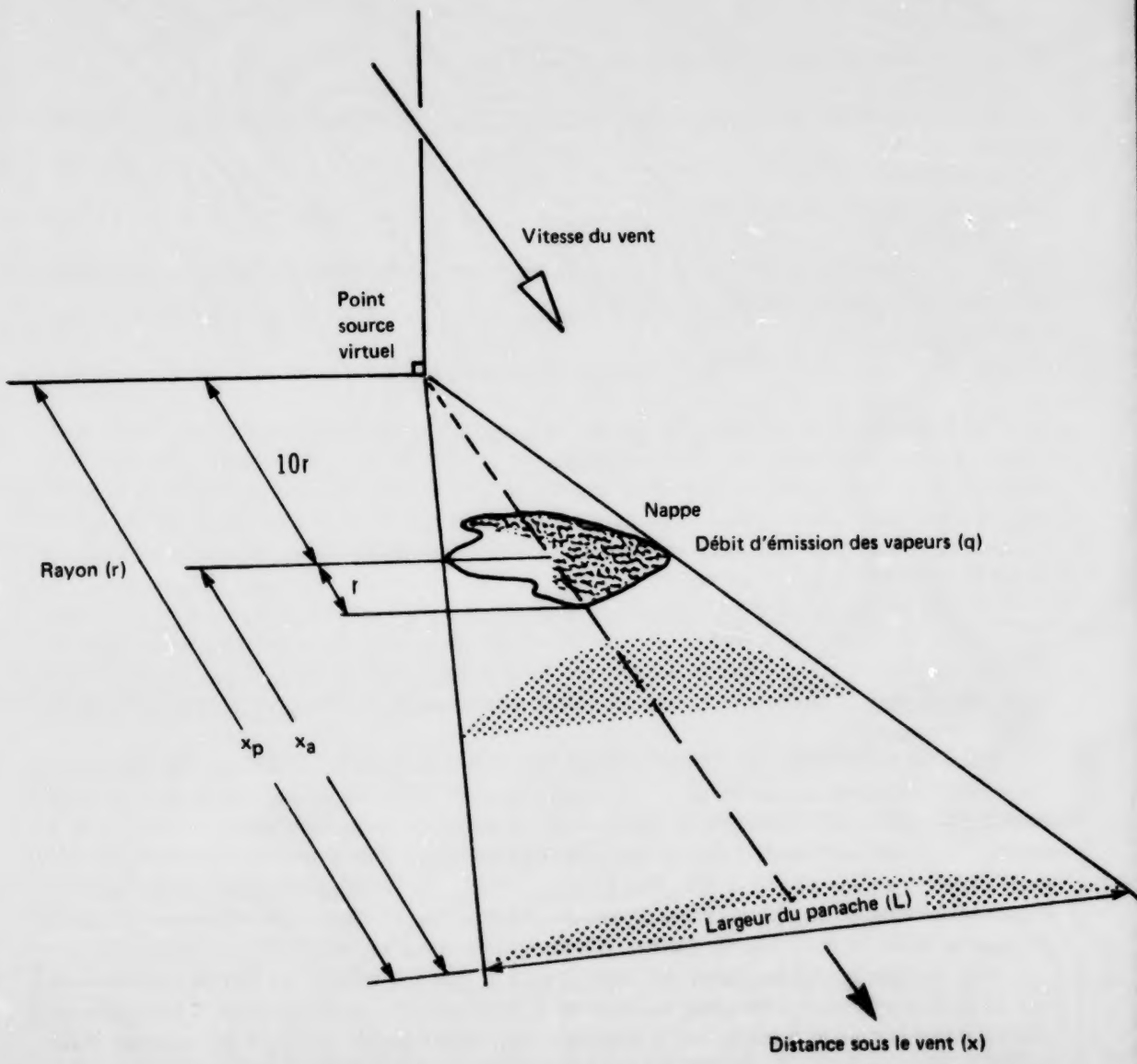
Selon une étude (Beattie, 1978) la meilleure façon d'observer les propriétés des vapeurs de fluorure d'hydrogène est de partir de l'équilibre existant entre les formes hexamères $(HF)_6$ et monomères (HF). Les températures élevées et les pressions partielles faibles ont tendance à favoriser la forme monomère. Aux températures ambiantes, le fluorure d'hydrogène a un poids moléculaire apparent de 70 à 80 (Kirk-Othmer, 1980). Donc, les vapeurs se comportent au départ comme celles du chlore, étant donné que les poids moléculaires sont semblables (71 pour le chlore et entre 70 et 80 pour le fluorure d'hydrogène à 101,3 kPa et 20 °C).

Pour estimer la concentration des vapeurs sous le vent par rapport au lieu de l'accident en vue de délimiter la zone présentant des dangers d'inflammabilité ou de toxicité, il faut créer un modèle représentant le transport et la dispersion atmosphérique de la vapeur du polluant. Pour établir ce modèle, on s'est basé sur des formules gaussiennes qui, dans la pratique, sont les plus souvent utilisées pour prévoir la concentration de polluants. Les détails du modèle se trouvent dans le Manuel d'introduction.

La figure 16 représente schématiquement le mode de dispersion d'un panache de polluant à partir d'une surface continue. Le modèle de dispersion représente la nappe liquide comme

Figure 16

FLUORURE D'HYDROGÈNE — **FORMATION D'UN PANACHE DE VAPEURS**



un point source virtuel (possédant le même taux d'émission de vapeur), situé en amont à une distance de 10 rayons équivalents de la nappe.

5.3.2 Nomogrammes et tableaux de diffusion du panache. – Ces nomogrammes de diffusion dans l'atmosphère ont pour but de définir la zone présentant des risques du fait du caractère toxique ou inflammable du panache de vapeur.
Voici les nomogrammes et tableaux de données figurant dans la présente section (à utiliser dans l'ordre donné):

Figure 18	taux d'émission de vapeur à partir d'une nappe liquide en fonction du rayon maximal de la nappe
Tableau 8	conditions météorologiques
Figure 19	concentration de vapeur normalisée en fonction de la distance sous le vent et des conditions météorologiques
Tableau 9	demi-largeurs maximales du panache dangereux
Figure 21	distance parcourue par le panache de vapeur en fonction du temps écoulé depuis le déversement et en fonction de la vitesse du vent

Le diagramme des étapes à suivre donné à la figure 17 décrit les étapes nécessaires pour calculer la dispersion de la vapeur et identifie les nomogrammes ou tableaux à utiliser. La présente section ne porte que sur la partie encadrée en pointillé. Les données relatives à «la quantité totale de liquide répandu» et au «rayon équivalent de la nappe» se trouvent respectivement aux sections 5.2 et 5.4. On trouvera par la suite la description de chaque nomogramme de diffusion du panache de vapeur et la façon de l'utiliser.

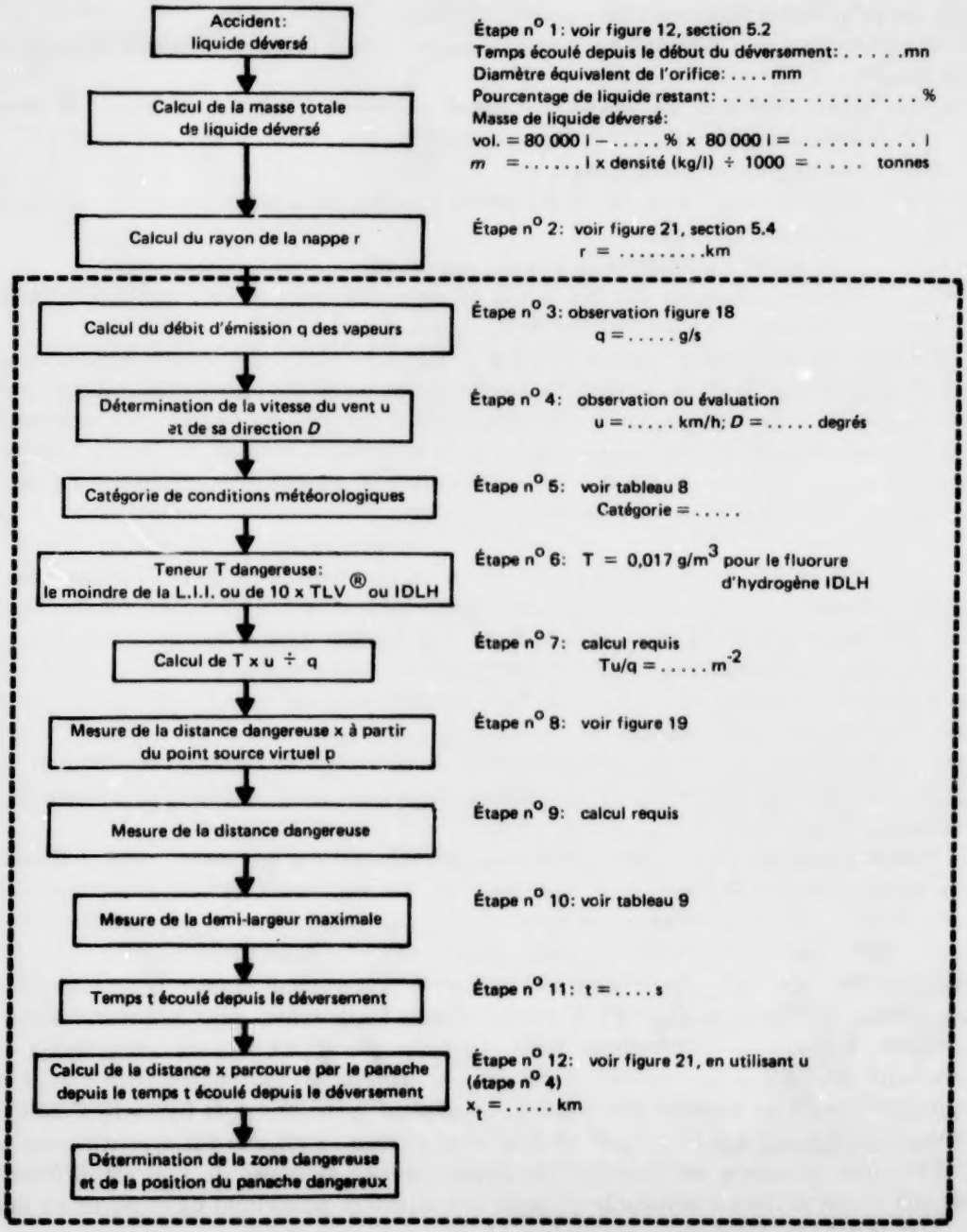
5.3.2.1 Figure 18: Taux d'émission de vapeur en fonction du rayon de la nappe liquide à diverses températures. – Le taux d'évaporation du fluorure d'hydrogène anhydre a été calculé à partir des équations sur les taux d'évaporation qui figurent dans le Manuel d'introduction Enviroguide. Le taux d'évaporation calculé pour le fluorure d'hydrogène à 20 °C et un vent de 4,5 m/s (16,1 km/h) est de 5,69 g/m^{2}s. Les taux d'évaporation aux autres températures ont été calculés d'après l'équation régissant les taux d'évaporation qui, lorsque le vent a une vitesse donnée, est fonction de la température ambiante et de la tension de vapeur (CRC, 1973; Perry, 1973) du fluorure d'hydrogène à cette température. On a ainsi calculé que les taux d'évaporation s'élevaient à 2,89 g/m^{2}s à 0 °C et 7,74 g/m^{2}s à 30 °C avec un vent de 4,5 m/s.

On peut calculer le rayon maximal de la nappe correspondant à diverses quantités de fluorure d'hydrogène en utilisant la figure 24 de la section 5.4. Les surfaces et les taux d'évaporation du fluorure d'hydrogène ainsi obtenus ont servi de base à la préparation du nomogramme de la figure 18 représentant le taux de libération de vapeur par rapport au rayon de la nappe.
Application: Pour une nappe de fluorure d'hydrogène de rayon connu, le taux (q) correspondant au dégagement de vapeur de fluorure d'hydrogène dans l'atmosphère peut être évaiué à partir de la figure 18 pour une température donnée. La partie pleine des courbes correspond à des déversements de 0,05 à 70 tonnes, ce dernier cas étant celui d'un wagon-citerne type de 80 000 litres rempli de fluorure d'hydrogène. Il convient de noter que la figure 18 s'applique à des vents de 4,5 m/s (16,1 km/h) et ne peut donc servir qu'à calculer par approximation les taux d'émission de vapeur de fluorure d'hydrogène lorsque la vitesse du vent est différente. Le Manuel d'introduction Enviroguide présente une équation permettant de convertir les taux d'évaporation à 4,5 m/s en taux correspondant à la vitesse du vent choisie.

On notera par ailleurs que la détermination du taux d'évaporation est fonction du rayon du déversement sur un plan d'eau calme (tableau K1; CHRIS, 1974). Un plan d'eau calme offre

Figure 17

FLUORURE D'HYDROGÈNE — **ÉTAPES À SUIVRE POUR DÉTERMINER LA ZONE DANGEREUSE**



une surface plane et illimitée par opposition au type de sol que l'on rencontre normalement lors d'un déversement accidentel (généralement irrégulier et poreux). Le rayon de déversement sur un plan d'eau calme est censé fournir la valeur maximum. En conséquence, lorsqu'on calcule le rayon de la nappe sur un sol quelconque en se servant de l'algorithme appliqué à l'eau, les chiffres seront surévalués et traduiront le pire des cas.

5.3.2.2 Figure 19: Concentration de vapeur en fonction de la distance sous le vent. – La figure 19 donne la relation existant entre la teneur en vapeur et la distance sous le vent lorsque les conditions météorologiques sont D et F. Ces nomogrammes ont été mis au point à l'aide des modèles de diffusion décrits dans le Manuel d'introduction Enviroguide. La teneur en vapeur est représentée par une teneur uniformisée au sol (Tu/q) sur la ligne du centre du panache polluant. La condition météorologique F est la moins adaptée à la diffusion d'un panache de vapeur et la condition D la plus courante dans la plupart des régions du Canada. Avant de se servir de la figure 17, on déterminera la condition météorologique à partir du tableau 8.

Tableau 8
Deux catégories de conditions météorologiques

Catégorie F	Catégorie D
Vitesse du vent < 11 km/h (~ 3 m/s) et l'un des facteurs suivants: • temps couvert • nuit • graves inversions thermiques	Valable pour toutes les autres conditions météorologiques

Application: La distance dangereuse maximale (x) sous le vent, à partir du lieu de l'accident peut être calculée à partir de la figure 17 si l'on connaît les facteurs suivants:

- q, le taux d'émission de la vapeur (g/s)
- u, la vitesse du vent (m/s)
- les conditions météorologiques
- la teneur dangereuse, T, soit la valeur moindre entre 10 fois la *Threshold Limit Value*® (g/m^3) et la valeur IDLH (g/m^3).

Nota: pour convertir la TLV® ou la valeur IDLH, exprimées en ppm, en teneurs exprimées en g/m^3, utiliser la figure 17.

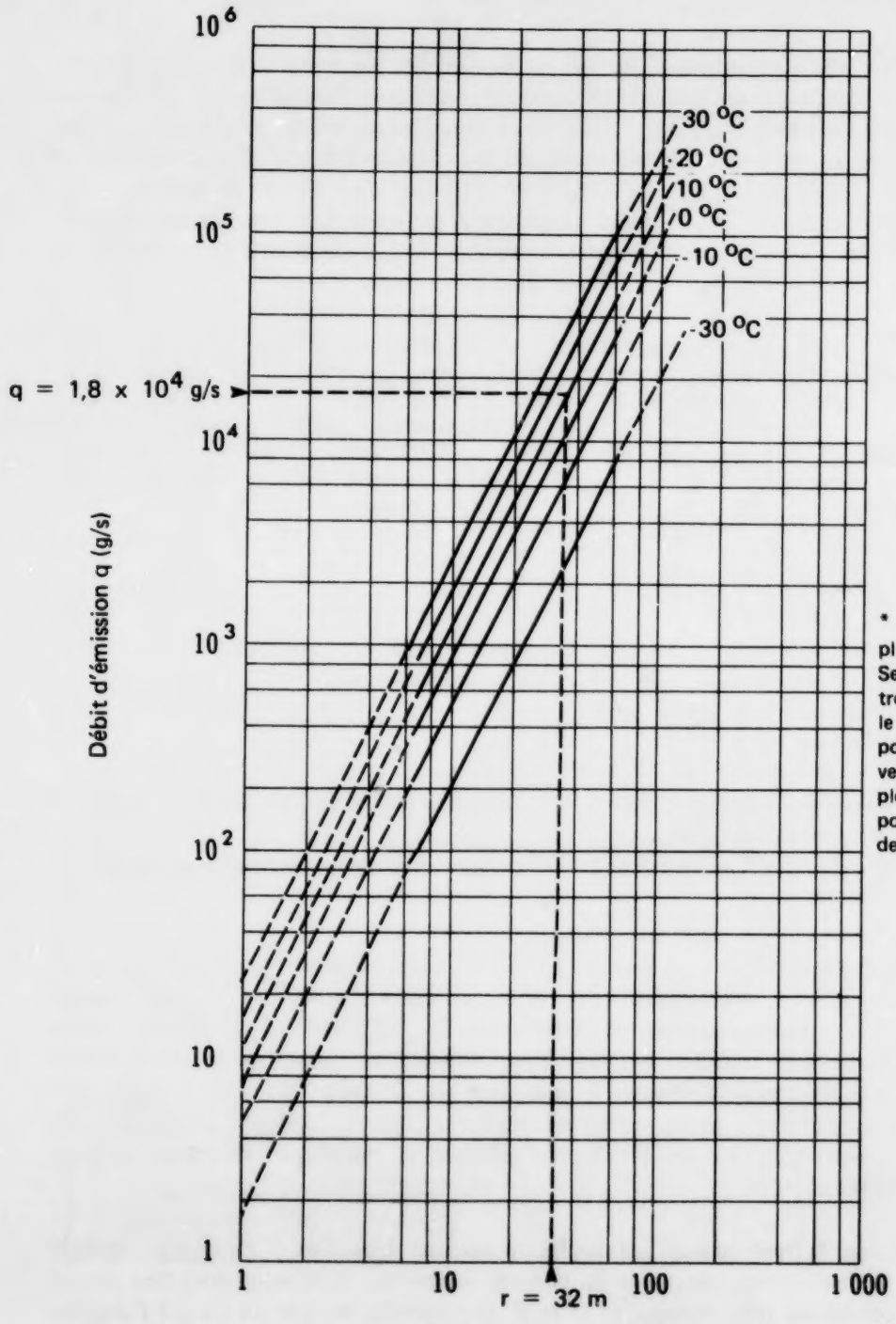
Une teneur dangereuse égale à 10 fois la TLV® (ou, dans certains cas, la valeur IDLH) a été choisie arbitrairement, cette mesure étant plus réaliste puisqu'il y a des risques pour la santé humaine à court terme (durée de l'ordre de 30 minutes). La TLV® est une norme d'exposition à long terme sur les lieux de travail et son emploi pour le calcul des risques reviendrait à étendre de manière irréaliste les zones de risques. Il faut noter que la valeur IDLH de 20 ppm peut constituer un cas où l'exemple choisi représente une valeur élevée. La limite d'exposition du public en cas d'urgence proposée est de 10 ppm, pendant 10 minutes et de 5 ppm pendant 60 minutes (PB203465).

5.3.2.3 Tableau 9: Demi-largeurs maximales du panache dangereux. – Le tableau présente des données sur la demi-largeur maximale du panache dangereux, (L/2)max. pour une gamme de q/u dans les conditions météorologiques D et F. Ces données ont été calculées à l'aide des

Figure 18

FLUORURE D'HYDROGÈNE

DÉBIT D'ÉMISSION DES VAPEURS EN FONCTION DU RAYON DE LA NAPPE À DIVERSES TEMPÉRATURES



* N.B. Le nomogramme s'applique à des vents de 4,5 m/s. Se reporter au Manuel d'introduction Enviroguide pour le calcul des valeurs correspondant à d'autres vitesses de vent. Par ailleurs, la partie pleine des diagrammes correspond à des déversements allant de 0,05 à 70 tonnes.

Figure 19

FLUORURE D'HYDROGÈNE

TENEUR UNIFORMISÉE EN VAPEURS EN FONCTION DE LA DISTANCE SOUS LE VENT

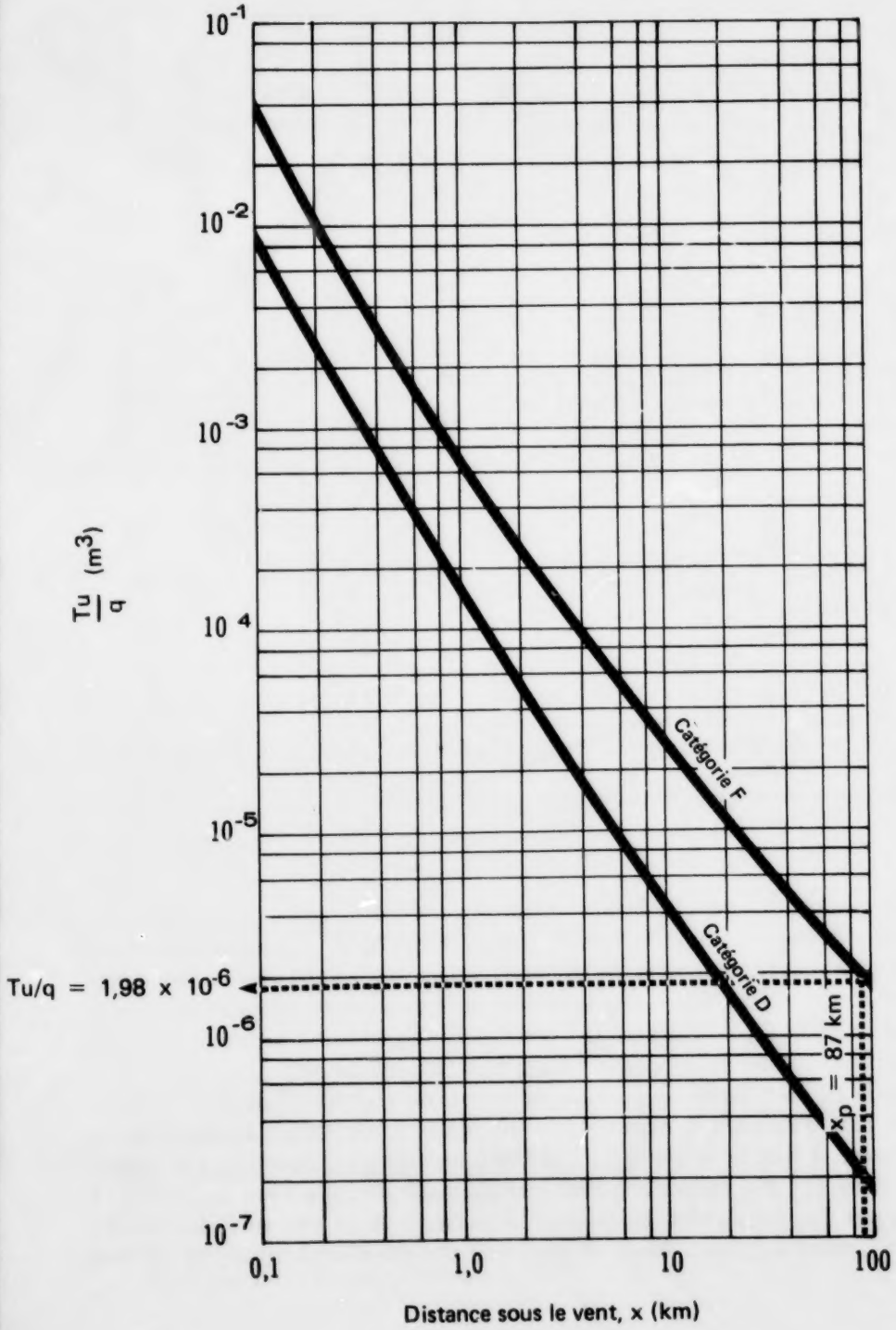


Tableau 9
Demi-largeurs maximales du panache dangereux
(pour le fluorure d'hydrogène à 20 °C)

Conditions de stabilité D			Conditions de stabilité F		
q/u (g/m)	(L/2)max. (m)		q/u (g/m)	(L/2)max. (m)	
110 000	3 265	(99,5 km)*	10 000	1 410	(99,5 km)*
100 000	3 080	q/u = 8570 →	9 000	1 300 →	(L/2)max. = 1300 m
80 000	2 680		7 500	1 140	
60 000	2 245		5 000	840	
50 000	2 005		4 000	710	
40 000	1 750		3 000	575	
30 000	1 460		2 000	425	
25 000	1 305		1 500	345	
20 000	1 140		1 000	265	
15 000	950		750	220	
10 000	740		500	170	
7 500	620		200	95	
5 000	490		100	60	
1 500	245		50	40	
1 000	190		25	30	
750	160				
500	130				
200	75				
100	50				
50	35				
25	25				

Exemple. – Une nappe de fluorure d'hydrogène libère sa vapeur à un débit $q = 1{,}8 \times 10^4$ g/s dans les conditions de stabilité F; si la vitesse du vent $u = 2{,}1$ m/s, alors $q/u = 8570$ g/m, ce qui donne une demi-largeur maximale du panache dangereux (L/2)max. de 1300 m.

Nota. – Ce tableau vaut seulement pour une teneur en fluorure d'hydrogène égale à 10 x TLV® ou 0,017 g/m^3, soit la IDLH.

*Les chiffres sont fournis pour une distance maximale sous le vent de 100 km.

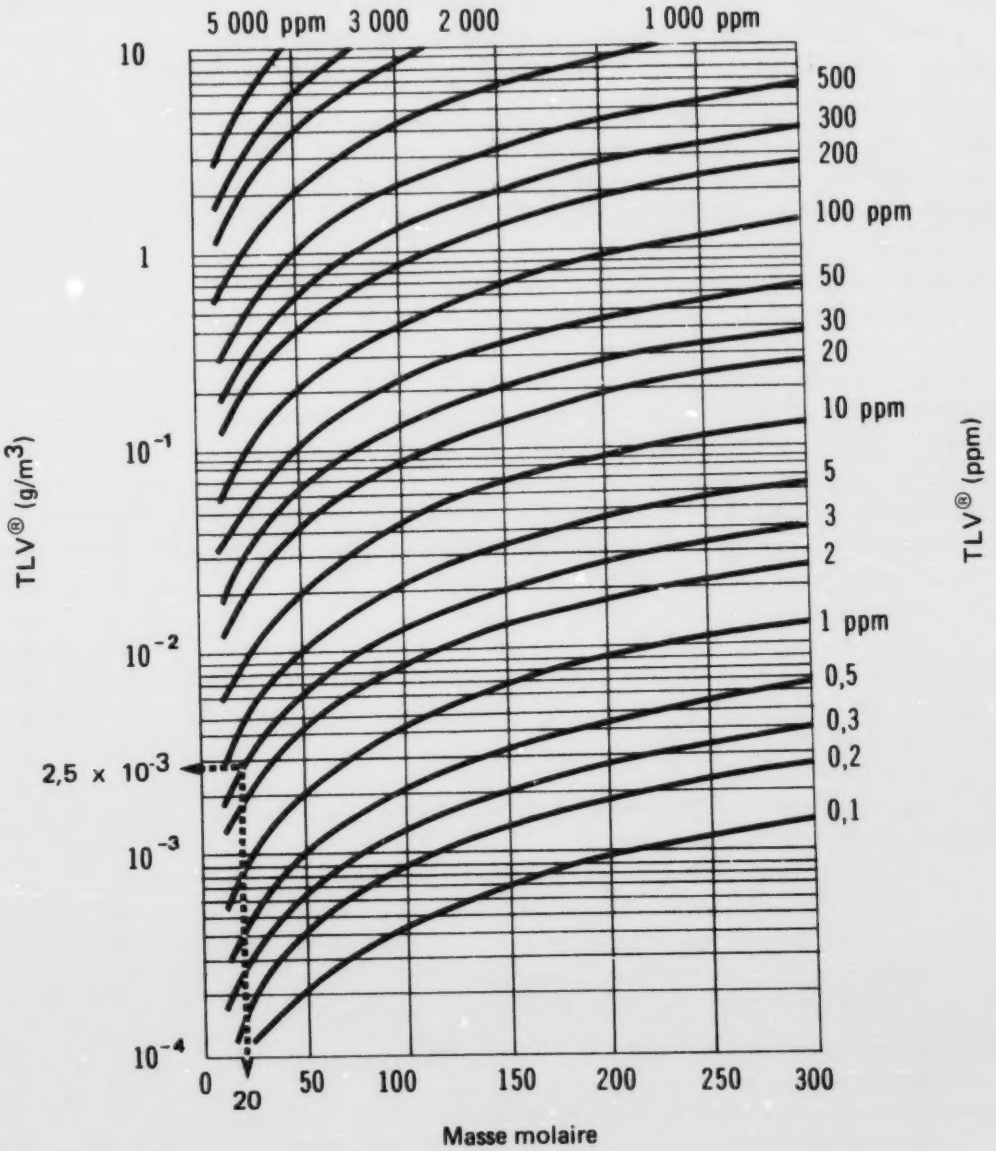
modèles de diffusion expliqués dans le Manuel d'introduction Enviroguide et correspondant à la limite de teneur dangereuse en fluorure d'hydrogène, soit 0,017 g/m^3. Le panache de vapeur maximum, placé sous le vent par rapport au lieu du déversement, correspond à une teneur dangereuse de valeur IDLH. Le tableau 9 ne s'applique donc qu'à un seuil de teneur dangereuse de fluorure d'hydrogène de 0,017 g/m^3 (IDLH). Des données correspondant aux risques maximum sont par ailleurs fournies pour des distances allant jusqu'à 100 km sous le vent.

Pour la catégorie D, on a utilisé une gamme de vitesses du vent (u) allant de 1 à 30 m/s. Avec un éventail de taux d'émission de vapeur (q) allant de 750 à 110 000 g/s, les déversements de fluorure d'hydrogène se sont situés entre 0,05 et 200 tonnes. Si le contenu total d'un wagon-citerne de 80 000 litres (17 600 gallons imp.) se vidait, la masse déversée serait de 79 400 kg, soit environ 79 tonnes. Par conséquent, en utilisant la catégorie D du tableau 9, les données valent pour jusqu'à 2 wagons et demi. Ainsi, on peut tenir compte d'accidents impliquant plus d'un seul wagon.

Figure 20

FLUORURE D'HYDROGÈNE

CONVERSION DE LA TLV® DE PPM EN g/m^3



Exemple: fluorure d'hydrogène, MM = 20, TLV® = 3 ppm
alors TLV® en $g/m^3 = 2,5 \times 10^{-3}$

Nota: Ces données sont valables pour une temp. de 25 °C
et une pression de mercure de 760 mm.

Selon la condition F, la vitesse du vent (u) varie entre 1 et 3 m/s. Le taux d'émission de vapeur (q) qui est utilisé se situe entre 75 et 10 000 g/s, ce qui correspond à des déversements de fluorure d'hydrogène s'étageant entre 1 et 1000 tonnes. En conséquence, dans le tableau 9 correspondant à la catégorie F, les données valent pour environ 10 p. 100 de la charge d'un wagon-citerne typique.

Application: Connaissant les conditions météorologiques, on peut calculer q/u. Choisir la valeur du tableau qui se rapproche le plus du q/u calculé et trouver la valeur (L/2)max. correspondante, soit la demi-largeur maximale du panache dangereux en mètres (pour obtenir une valeur plus précise, interpoler q/u et (L/2)max.). Voir aussi l'exemple au bas du tableau 9.

5.3.2.4 **Figure 21: Temps mis par le panache en fonction de la distance parcourue.** – La figure 21 représente les droites obtenues en joignant les points correspondant au temps mis par le panache (t) en fonction de la distance parcourue (x) à différentes vitesses du vent (u). Il s'agit simplement de la représentation graphique de l'équation $x = ut$ pour une gamme de vitesses du vent caractéristiques.

Application: Lorsqu'on connaît le temps (t) écoulé depuis l'accident et la vitesse du vent (u), on peut calculer la distance (x), qui indique jusqu'où, sous le vent, le panache s'est rendu.

5.3.3 **Exemple de calcul.** – L'exemple de calcul fourni ci-dessous vise à illustrer les différentes étapes permettant d'estimer l'étendue de la zone de risque située sous le vent en cas de déversement de fluorure d'hydrogène liquéfié. Le lecteur prendra note des limites apportées au calcul dans le présent ouvrage et dans le Manuel d'introduction Enviroguide. Les estimations données ici ne s'appliquent qu'aux conditions qui ont été précisées. Il est recommandé à l'utilisateur de recourir si possible à des estimations connues ou observées (en ce qui concerne le rayon de la nappe par exemple) dans chaque cas particulier.

DONNÉES DU PROBLÈME

Au cours de la nuit, à 2 heures du matin environ, on a renversé 20 tonnes de fluorure d'hydrogène anhydre sur un sol plat. Il est maintenant 2 heures 05, la température est de 20 °C et la vitesse du vent, de 7,5 km/h en provenance du N.-O. Déterminer l'étendue de la zone de vapeur dangereuse.

ÉTAPES DU CALCUL

Étape 1 La masse *m* de liquide déversé est de 20 tonnes.

Étape 2 Calculer le rayon r de la nappe.
Utiliser le rayon mesuré sur place si cela est possible.
Sinon, utiliser le rayon maximal de la figure 24, section 5.4. À noter que l'utilisation de cette donnée, qui s'applique aux déversements sur un plan d'eau donnera une mesure exagérée du rayon de la nappe sur le sol.
$r = 32 \text{ m} \div 1000 = 0{,}032 \text{ km}$.

Etape 3 Calculer le débit d'émission q à temp. = 20 °C
En utilisant la fig. 18, si r = 32 m et temp. = 20 °C, $q = 1{,}8 \times 10^4$ g/s.

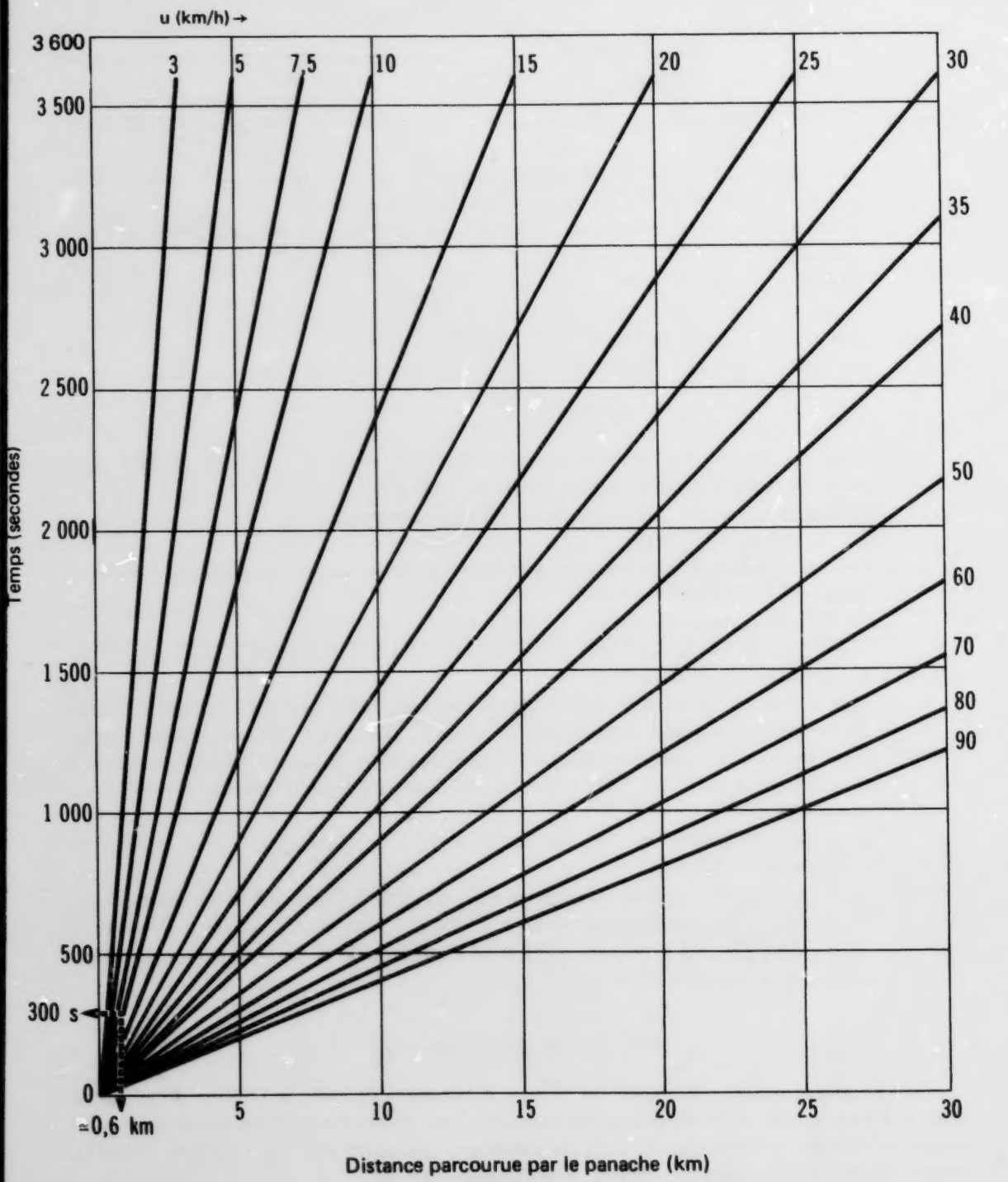
Étape 4 Déterminer la vitesse du vent u et sa direction *D*.
Utiliser l'information accessible sur les conditions météorologiques, de préférence à partir d'observations faites sur le terrain. Ici:
$u = 7{,}5 \text{ km/h}; u = 7{,}5 \div 3{,}6 = 2{,}1 \text{ m/s}$;
D = N.-O. ou 315° (*D* = direction d'où souffle le vent).

Étape 5 Déterminer la catégorie appropriée de conditions météorologiques.
Le tableau 8 permet d'établir qu'il s'agit de la catégorie F, puisque $u < 11$ km/h et que le déversement se produit au cours de la nuit.

Figure 21

FLUORURE D'HYDROGÈNE

DISTANCE PARCOURUE PAR LE PANACHE EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ



Étape 6 Déterminer la teneur T dangereuse limite.

Il s'agit de la valeur la moindre entre 10 x TLV® ou la IDLH, donc dans le cas du fluorure d'hydrogène:

$T = 0{,}017\ g/m^3$ (TLV®) = $0{,}0025\ g/m^3$; IDLH = $0{,}017\ g/m^3$.

Étape 7 Calculer Tu/q.

$$Tu/q = \frac{0{,}017 \times 2{,}1}{1{,}8 \times 10^4} = 1{,}98 \times 10^{-6}\ m^{-2}$$

Étape 8 Calculer la distance maximale dangereuse du côté sous le vent x à partir du point source p virtuel.

Voir figure 19. Pour une catégorie F de conditions météorologiques,

si $Tu/q = 1{,}98 \times 10^{-6}\ m^{-2}$, $x_p = 87$ km (± 2 km).

Étape 9 Calculer la distance dangereuse maximale du côté sous le vent x à partir de l'aire source a.

Comme $x_p = 87$ km et r = 0,032 km,

$x_a = x_p - 10\,r = 87\ km - 10\,(0{,}032\ km) = 87$ km.

Étape 10 Calculer la demi-largeur maximale du panache dangereux.

Se servir du tableau 9. Comme $q = 1{,}8 \times 10^4$ g/s et u = 2,1 m/s,

$$q/u = \frac{1{,}8 \times 10^4}{2{,}1} = 8570\ g/m$$

pour la catégorie F de conditions météorologiques, la valeur de q/u est de 9000 g/m, ce qui donne une demi-largeur maximale de 1300 m.

Étape 11 Déterminer le temps t écoulé depuis le début du déversement,

t = 5 mn x 60 = 300 s.

Étape 12 Calculer la distance sous le vent x parcourue par le panache depuis le début du déversement.

Se servir de la figure 21. Comme t = 300 s et u = 7,5 km/h,

x_t = 0,6 km (plus précisément: ut = 2,1 m/s x 300 s = 630 m = 0,63 km).

Étape 13 Schématiser la zone dangereuse.

Cela se fait en formant un rectangle dont deux des côtés opposés mesurent (chacun) deux fois la demi-largeur maximale du panache dangereux (1300 m), alors que les deux autres côtés mesurent (chacun) l'équivalent de la distance maximale dangereuse sous le vent à partir de l'aire source et sont orientés dans la direction du vent (voir figure 22).

Si le vent ne fluctue que de 20° (315° ± 10°), le schéma de la zone dangereuse correspond à la figure 20.

Nota. – Au cours des 5 minutes qui se sont écoulées depuis le début du déversement, le panache a franchi seulement 0,63 km. Sous un vent de 7,5 km/h, il s'écoulerait encore 690 minutes avant que le panache ne franchisse la distance maximale dangereuse sous le vent, soit 87 km.

5.4 Comportement dans l'eau

5.4.1 Introduction. – Lorsqu'il est déversé à la surface de l'eau, le fluorure d'hydrogène bout et s'évapore tout en se répandant à la surface de l'eau et en se mélangeant avec celle-ci pour former de l'acide fluorhydrique. L'acide fluorhydrique concentré bouillira (réaction violente), libérera du fluorure d'hydrogène, coulera, et se mélangera à l'eau.

Figure 22

FLUORURE D'HYDROGÈNE

ZONE DANGEREUSE SOUS UN VENT INVARIABLE
EXEMPLE DE PROBLÈME

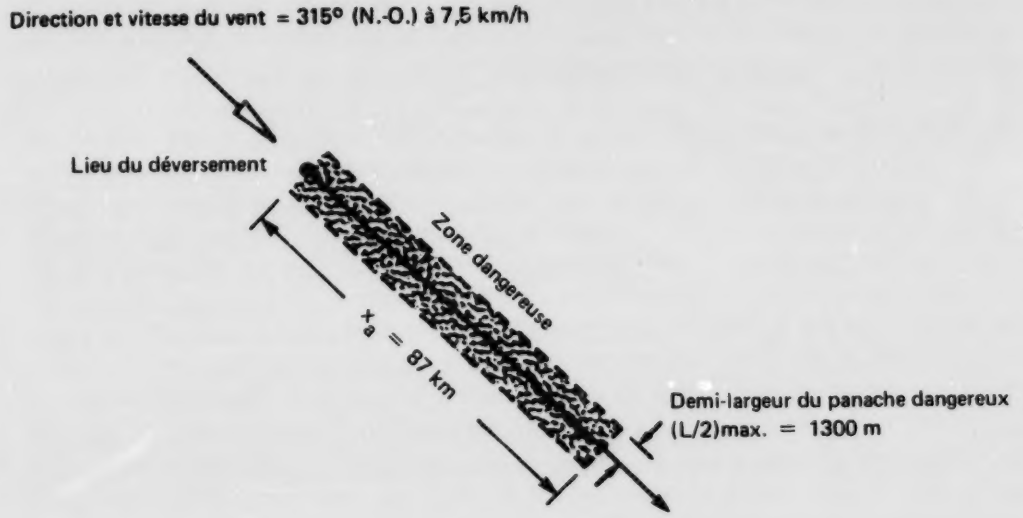
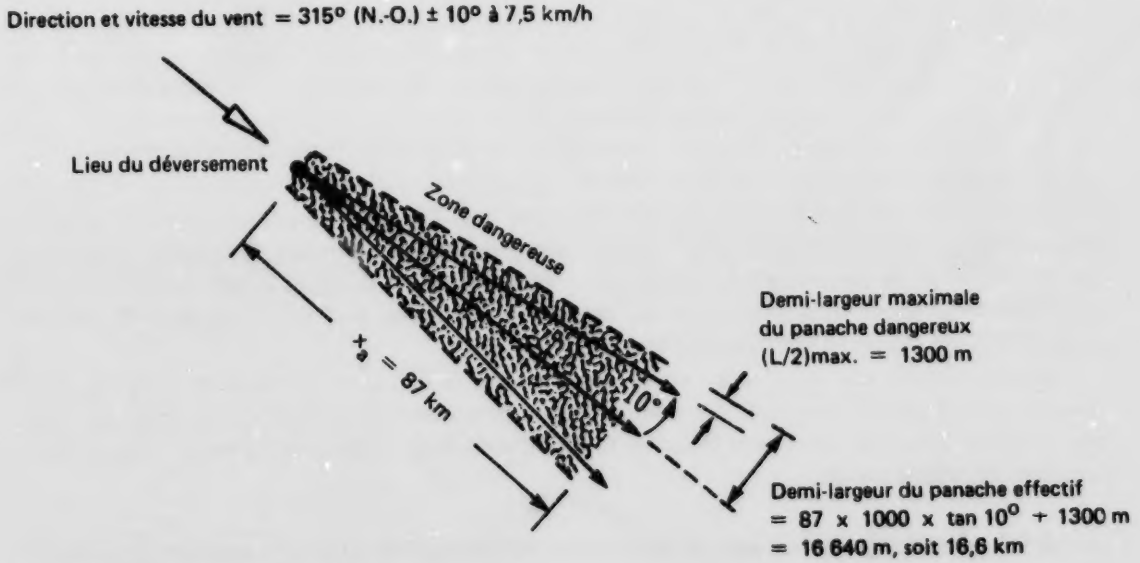


Figure 23

FLUORURE D'HYDROGÈNE

ZONE DANGEREUSE SOUS UN VENT VARIABLE
EXEMPLE DE PROBLÈME



Pour préparer les nomogrammes, on a supposé les deux cas les plus défavorables. Tout d'abord, on a évalué l'étalement sur la surface de l'eau en partant du principe qu'aucune partie du fluorure d'hydrogène ne se dissout dans l'eau. On a tenu compte, toutefois, des pertes dues à l'évaporation. En second lieu, on a évalué les risques de pollution de l'eau en partant du principe que la totalité du fluorure d'hydrogène se dissout dans l'eau sans qu'il n'y ait aucune évaporation. Il s'agit là de deux cas limites qui rendent compte, dans le premier cas, des risques d'étalement du fluorure d'hydrogène à la surface de l'eau et, dans le second cas, des risques de pollution de l'eau liés à la dissolution du fluorure d'hydrogène dans l'eau.

5.4.2 Étalement à la surface de l'eau. – La vitesse d'étalement à la surface de l'eau est fonction de l'équilibre des forces tendant à étaler le liquide (gravité et tension superficielle) et de celles qui tendent à résister à l'étalement (inertie et viscosité). Des liquides tels que le fluorure d'hydrogène ayant tendance à s'évaporer rapidement, seul le régime d'étalement lié d'abord à la gravité et aux forces d'inertie est jugé pertinent (RAJ, 1974). La taille maximum de la nappe est fonction, dans une large mesure, du taux d'évaporation. Les équations représentant l'étalement de la nappe à la surface de l'eau figurent dans le Manuel d'introduction Enviroguide. Dans le cadre du nomogramme qui est présenté, on a fixé la température de l'eau à 20 °C, chiffre considéré comme maximum raisonnable en ce qui a trait à la température de surface des plans d'eau. Ce facteur tend à maximiser la taille de la nappe. Cette hypothèse part du principe qu'aucune dilution ne se produit afin de simuler le pire des scénarios. L'étalement est surtout utilisé pour prédire le pire cas de déversement sur le sol, puisque sur l'eau, l'évaporation et la dilution donneront un rayon beaucoup plus petit.

5.4.3 Dilution dans l'eau. – Dans cette hypothèse, on part du principe que la totalité du fluorure d'hydrogène déversé se dissout rapidement sans aucune formation de vapeur. Le mélange intervient et le liquide déversé est dissous. Ce mélange peut être décrit de manière générale à l'aide d'équations de diffusion classiques comportant un ou plusieurs coefficients de diffusion. Dans les cours d'eau, le principal agent de dilution est la turbulence de l'eau alors que, dans les eaux calmes, le mélange a lieu par diffusion moléculaire.

Lorsqu'on veut estimer la concentration de liquide polluant déversé dans une rivière, en un point situé en aval, il convient d'établir un modèle de diffusion dans les eaux en mouvement. Le modèle utilisé s'applique strictement aux liquides neutres en mouvement et aux solides qui se dissolvent dans l'eau, ce qui est le cas du fluorure d'hydrogène.

Le modèle unidimensionnel part dans l'idéal d'un canal rectangulaire et suppose que la teneur en polluants dans toute cette section est uniforme. Bien évidemment, ce modèle ne s'applique qu'en des points situés suffisamment en aval du déversement pour que le produit polluant ait le temps de se mélanger et de se diluer tout au long du canal. Ce modèle s'applique aux rivières dont le rapport de la largeur sur la profondeur est inférieur à 100 ($L/h < 100$) en supposant la présence d'un coefficient de rugosité de Manning de 0,03. Ce modèle est exposé en détail dans le Manuel d'introduction Enviroguide.

Aucun modèle n'a été élaboré en ce qui a trait à la diffusion moléculaire dans les eaux calmes. On a choisi de concevoir des nomogrammes permettant de définir la zone de risque ainsi que la teneur moyenne dans cette zone en fonction de l'ampleur du déversement, mais indépendamment du temps écoulé.

5.4.4 Nomogrammes. – Les nomogrammes suivants permettent de calculer l'étalement de la nappe à la surface des eaux calmes (absence de dilution) et d'évaluer les teneurs en produits polluants dans les rivières non soumises à l'influence des marées et dans les lacs (absence d'évaporation).

Étalement à la surface des eaux calmes

Figure 24 Rayon maximal de la nappe en fonction de la masse déversée compte tenu de la durée nécessaire à une évaporation complète.

Dilution dans l'eau – Cours d'eau non soumis à l'influence des marées

Figure 26 Distance parcourue en fonction du temps aux différentes vitesses des cours d'eau.

Figure 27 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal selon les différentes hauteurs d'eau.

Figure 28 Coefficient de diffusion en fonction du rayon hydraulique suivant les différentes vitesses moyennes des cours d'eau.

Figure 29 Alpha* en fonction du coefficient de diffusion suivant les différents temps écoulés.

Figure 30 Alpha* en fonction de delta* suivant l'ampleur du déversement.

Figure 31 Teneur maximale en fonction de delta selon la surface de la section mouillée.

Diffusion dans les lacs ou les plans d'eau calme

Figure 32 Volume d'eau en fonction du rayon dans la zone dangereuse suivant les différentes hauteurs d'eau.

Figure 33 Teneurs moyennes en fonction du volume d'eau dans la zone dangereuse suivant l'ampleur du déversement.

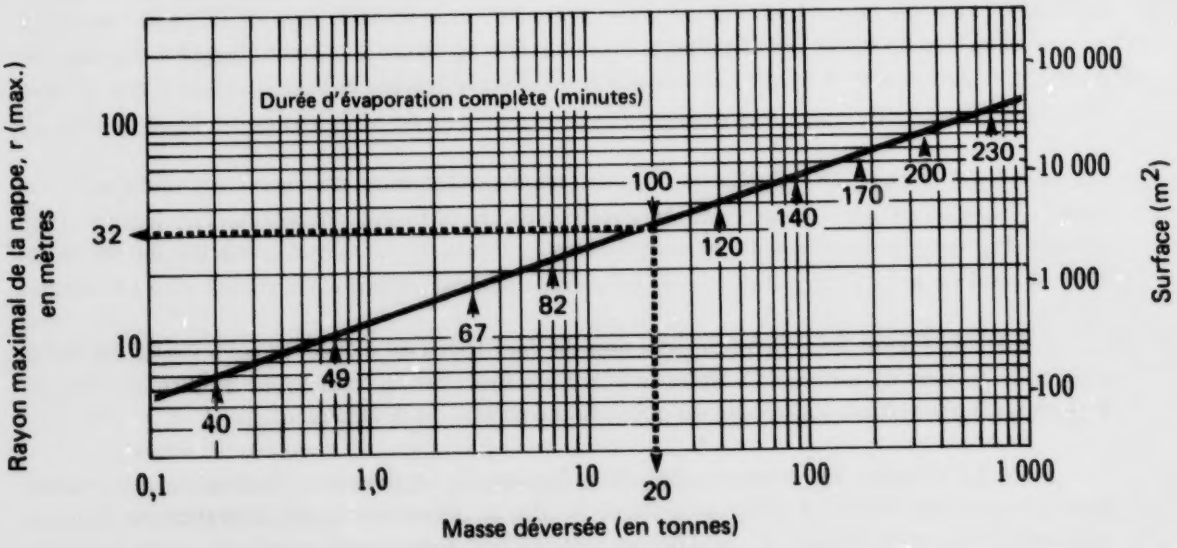
5.4.4.1 Nomogrammes d'étalement sur les plans d'eau calme

Figure 24 Rayon maximal de la nappe en fonction de la masse déversée.

Figure 24

FLUORURE D'HYDROGÈNE

RAYON MAXIMAL DE LA NAPPE EN FONCTION DE LA MASSE DÉVERSÉE



* Les coefficients alpha et delta ne sont que des facteurs de conversion et n'ont d'autre intérêt que de faciliter les calculs des teneurs en aval d'un déversement.

Si l'on part du principe qu'aucune diffusion ne se produit dans l'eau, la figure 24 nous donne un moyen simple d'évaluer le rayon maximal de la nappe de fluorure d'hydrogène à condition que la masse déversée soit connue. Ce nomogramme fait appel aux données figurant dans le Hazard Assessment Handbook (CHRIS, 1974) ainsi qu'à un modèle informatique d'étalement et d'évaporation simultanés de liquide cryogénique répandu dans l'eau (RAJ, 1974). Les chiffres entre parenthèses qui figurent sur le nomogramme nous permettent d'évaluer la durée d'évaporation complète de la nappe. Les durées étant très courtes, on n'a pas tenu compte de la totalité de l'échelonnement dans le temps de l'étalement de la nappe. Il en est de même du déplacement de la nappe en raison de l'action du vent ou des courants de surface.

5.4.4.2 Nomogrammes de diffusion dans l'eau – Cours d'eau non soumis à l'influence des marées. – Le diagramme des étapes à suivre de la figure 25 illustre les différentes étapes permettant d'évaluer la teneur en liquide polluant en aval du lieu du déversement et identifie les nomogrammes devant être utilisés. Ces nomogrammes (figure 26 à 31) sont décrits aux paragraphes qui suivent.

5.4.4.2.1 Figure 26: Distance en fonction du temps écoulé. – La figure 26 fait état d'une relation simple entre la vitesse moyenne du courant, le temps écoulé et la distance parcourue. Une fois que l'on a estimé la vitesse moyenne du courant (V), il est facile d'en déduire à partir de la figure 23 le moment (t) auquel un point donné, situé à une certaine distance (x) en aval du déversement, sera pollué.

5.4.4.2.2 Figure 27: Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal. – Le modèle servant à estimer le degré de pollution en aval du déversement part du principe de l'existence d'un canal rectangulaire idéal de largeur (L) et hauteur d'eau (h). Il est nécessaire de connaître le rayon hydraulique (r) de ce chenal pour estimer le coefficient de diffusion en fonction de la turbulence (E). Le rayon hydraulique (r) se définit comme étant le rapport de la surface de la section mouillée (s) divisé par le périmètre mouillé (B). La figure 27 nous donne le nomogramme permettant de calculer le rayon hydraulique (r) d'après la largeur et la profondeur d'une section théorique de la rivière.

5.4.4.2.3 Figure 28: Coefficient de diffusion en fonction du rayon hydraulique. – La figure 28 nous permet de calculer le coefficient de diffusion turbulente (E) lorsque l'on connaît le rayon hydraulique (r) calculé d'après la figure 27 ainsi que la vitesse moyenne du cours d'eau (V).

5.4.4.2.4 Figure 29: Alpha en fonction du coefficient de diffusion. – La figure 29 sert à estimer le facteur de conversion alpha (α), qui est fonction du coefficient de diffusion (E) et du temps (t) permettant d'atteindre un point donné en aval du déversement.

5.4.4.2.5 Figure 30: Alpha en fonction de delta. – Le deuxième facteur de conversion, delta (Δ) peut être estimé à partir de la figure 30 afin de déterminer la concentration de produits polluants en un point donné. Le coefficient delta (Δ) est fonction du coefficient alpha (α) et de l'ampleur du déversement (m).

5.4.4.2.6 Figure 31: Teneur maximale en fonction de delta. – La figure 31 représente l'étape finale du calcul de la teneur maximale en polluants en aval du déversement (T) en un

point donné. Connaissant la surface de la section mouillée (s), on applique le facteur delta (Δ) et l'on obtient immédiatement à partir du nomogramme la teneur (T). Le chiffre obtenu à la figure 31 s'applique à des liquides ou à des solides neutres en mouvement et variera quelque peu pour d'autres polluants plus lourds ou plus légers que l'eau.

5.4.4.3 Nomogrammes s'appliquant aux lacs et aux plans d'eau calme

5.4.4.3.1 Figure 32: Volume d'eau en fonction du rayon. – L'ampleur du déversement d'un liquide neutre en mouvement dans un lac en l'absence de vent et de courant a été idéalement représentée par un cylindre de rayon (r) et de longueur (h) équivalant à la hauteur d'eau au point du déversement. Le volume d'eau dans le cylindre peut être obtenu à partir de la figure 31. Le rayon (r) représente la distance qui sépare le lieu du déversement du point qui nous intéresse.

5.4.4.3.2 Figure 33: Teneurs moyennes en fonction du volume d'eau. – Dans un volume d'eau connu (contenu dans le cylindre de rayon (r) et de longueur (h)) correspondant à la représentation idéale qui précède, la teneur moyenne en polluants (T) peut être obtenue à partir de la figure 33 lorsqu'on connaît la masse du produit déversé. Cela suppose que le polluant se répartit régulièrement dans tout le cylindre. Lorsqu'il s'agit d'un produit plus dense ou, au contraire, moins dense que l'eau, la teneur véritable au fond du cylindre sera respectivement supérieure ou inférieure à la moyenne.

5.4.5 Exemples de calculs

5.4.5.1 Étalement à la surface d'une étendue d'eau calme. – Vingt tonnes de fluorure d'hydrogène ont été déversées à la surface d'un grand lac. Quelle sera la taille maximale de la nappe (en partant du principe qu'aucune dilution ne se produira) et la durée approximative de l'évaporation complète?

Solution

Se servir de la figure 24

Si m = 20 tonnes, r(max.) = 32 m

La durée d'évaporation complète est de 100 minutes (1 heure 40 minutes).

5.4.5.2 Teneur en polluants dans les cours d'eau non soumis à l'influence des marées. – Vingt tonnes de fluorure d'hydrogène se sont déversées dans un cours d'eau. La largeur du cours d'eau est de 50 mètres et sa hauteur d'eau de 5 mètres. La vitesse moyenne du courant est estimée à 1 m/s. Quelle est la teneur maximale prévisible en un point situé à 5 km en aval?

Solution

Étape 1 L = 50 m
h = 5 m
V = 1 m/s
m = 20 tonnes

Étape 2 Calculer le temps nécessaire pour atteindre le point choisi
Utiliser la figure 26
Si x = 5000 m et V = 1 m/s, t = 83 minutes

Étape 3 Calculer le rayon hydraulique (r)
Utiliser la figure 27
Si L = 50 m et h = 5 m, r = 4,2 m

Étape 4 Calculer le coefficient de diffusion turbulente (E)
Utiliser la figure 28
Si r = 4,2 m et V = 1 m/s, E = 69 m^2/s

Étape 5 Calculer alpha (α)
Utiliser la figure 29
Si E = 69 m^2/s et t = 83 minutes, α = 2000

Étape 6 Calculer delta (Δ)
Utiliser la figure 30
Si alpha (α) = 2000 et m = 20 tonnes, delta (Δ) = 10

Étape 7 Calculer la surface de section mouillée
s = l x h = 50 x 5 = 250 m^2

Étape 8 Calculer la teneur maximale (T) au point choisi
Utiliser la figure 31
Si Δ = 10 et s = 250 m^2, T = 40 ppm.

5.4.5.3 Teneur moyenne en polluants dans les lacs et les plans d'eau calme. – Vingt tonnes de fluorure d'hydrogène se sont déversées dans un lac. Le point choisi est situé le long de la berge à environ 1000 m du point de déversement. La hauteur d'eau moyenne entre le lieu du déversement et le point choisi est de 5 m. Quelle est la teneur moyenne prévisible?

Étape 1 Déterminer les paramètres
h = 5 m
r = 1000 m
m = 20 tonnes

Étape 2 Déterminer le volume d'eau dans lequel se fera la dilution
Utiliser la figure 32
Si r = 1000 m et h = 5 m, le volume $\simeq$ 1,5 x 10^7 m^3

Étape 3 Déterminer la teneur moyenne
Utiliser la figure 33
Si le vol. = 2,5 x 10^7 m^3 et m = 20 tonnes, la teneur moyenne = 1,5 ppm.

5.5 Comportement dans la subsurface

5.5.1 Introduction. – Les principes relatifs à la migration dans le sol et leur application au présent ouvrage figurent dans le Manuel d'introduction Enviroguide. Certains aspects de la migration du fluorure d'hydrogène ou de l'acide fluorhydrique dans la subsurface après un déversement, sont présentés ci-après.

Le fluorure d'hydrogène anhydre présente un point d'ébullition de 19,54 °C à la pression atmosphérique normale. En conséquence, l'évaporation est importante lorsqu'il est déversé sur le sol. L'évaporation à partir d'une nappe à 20 °C s'effectue à un rythme de 5,69 $g/m^2 \cdot s$.

Lorsque ce produit chimique est déversé sur le sol, une partie s'évapore mais le reste s'infiltre dans le sol. L'évaporation se poursuivra dans le sol, mais à un rythme réduit.

Le fluorure d'hydrogène étant miscible dans l'eau, la présence d'eau dans le sol ou de précipitations au moment du déversement influeront sur la vitesse de migration dans le sol. Sa dilution dans l'eau va augmenter davantage sa viscosité que sa densité. Il en résultera en fin de compte une diminution nette de la vélocité de pénétration du fluorure d'hydrogène dans le sol. La tension de vapeur du fluorure d'hydrogène ainsi que le rythme de l'évaporation vont eux aussi diminuer.

Si la surface du sol est saturée d'eau au moment du déversement, comme ce peut être le cas après une pluie, le produit chimique ainsi déversé ruissellera sur le sol ou formera des flaques.

Dans le cadre du présent ouvrage, nous avons supposé l'état de capacité au champ, soit la quantité d'eau retenue par le sol après la fin d'une période de pluie et un ressuyage partiel. Ces conditions excluent pratiquement la présence d'eau interstitielle permettant de diluer le produit chimique au cours de son déplacement ou d'empêcher qu'il ne pénètre dans le sol, ce qui représente donc la pire des situations.

Lorsqu'il migre dans le sol, le fluorure d'hydrogène peut dissoudre une partie des constituants de celui-ci et, en particulier, ceux qui sont à base de carbone et de quartz. L'acide en sera donc neutralisé jusqu'à un certain point, l'adsorption d'ions fluorure se produisant aussi en présence d'argile. Il n'en reste pas moins qu'une quantité importante d'acide parviendra jusqu'à la nappe phréatique. La présente analyse ne tient pas compte de ces facteurs de retardement.

Après avoir atteint la nappe phréatique, l'acide continuera à se déplacer dans le sens de l'écoulement de l'eau dans cette nappe. Une colonne polluée résultera ainsi de la diffusion et de la dispersion de l'acide, contribuant à réduire quelque peu sa teneur.
On trouvera le schéma correspondant à la figure 34.

5.5.2 Équations décrivant la migration du fluorure d'hydrogène et de l'acide fluorhydrique dans le sol. – Les équations et les hypothèses servant à décrire le mouvement du polluant dans les sols non saturés jusqu'à la nappe phréatique figurent dans le Manuel d'introduction Enviroguide. Les vitesses de migration sont calculées d'après la Loi de Darcy en posant comme hypothèse la formation d'une colonne saturée en solution polluée par suite de l'écoulement en bloc.

5.5.3 Coefficient de perméabilité en sol saturé du fluorure d'hydrogène et de l'acide fluorhydrique. – Le coefficient de perméabilité en sol saturé (K) en m/s est donné par la formule suivante:

$$K = \frac{(\rho g)\ k}{\mu}$$

dans laquelle:
k = perméabilité intrinsèque du sol (m^2)
ρ = masse volumique du liquide (kg/m^3)
μ = viscosité absolue du liquide ($Pa \cdot s$)
g = accélération due à la pesanteur = 9,81 m/s^2

Caractéristique	Fluorure d'hydrogène anhydre 20 °C	4 °C	Acide fluorhydrique à 70 % 20 °C	Eau 20 °C
Masse volumique (ρ) kg/m^3	950	1000	1200	998
Viscosité absolue (μ) $Pa \cdot s$	$0{,}2 \times 10^{-3}$	$0{,}25 \times 10^{-3}$	$0{,}44 \times 10^{-3}$	$1{,}0 \times 10^{-3}$
Coefficient de perméabilité en sol saturé (K), m/s	$(4{,}66 \times 10^{7})k$	$(3{,}92 \times 10^{7})k$	$(2{,}68 \times 10^{7})k$	$(0{,}98 \times 10^{7})k$

5.5.4 Sols. – Le Manuel d'introduction Enviroguide décrit les trois types de sols retenus dans le cadre de cet ouvrage. Leurs caractéristiques pertinentes sont les suivantes:

Caractéristique	Types de sol		
	Sable grossier	Sable limoneux	Till argileux
Porosité (n), m^3/m^3	0,35	0,45	0,55
Perméabilité intrinsèque (k), m^2	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}
Capacité au champ du sol, m^3/m^3	0,075	0,3	0,45

5.5.5 Nomogrammes de pénétration. – Pour chaque type de sol, on a préparé des nomogrammes représentant la profondeur de migration du fluorure d'hydrogène ou de l'acide fluorhydrique dans une zone non saturée située au-dessus de la nappe phréatique.

La profondeur de migration (B) est relevée en fonction des temps de migration (tm). Du fait des méthodes et des hypothèses choisies, la profondeur de migration doit être considérée comme la profondeur maximum pouvant être atteinte dans le temps tm.

Un plan d'utilisation des nomogrammes est présenté à la figure 35. Les nomogrammes eux-mêmes sont représentés aux figures 36, 37 et 38.

La ligne correspondant à la présence de l'eau sur les nomogrammes est celle de l'infiltration maximale de l'eau à 20 °C dans le temps tm. C'est là une situation limite étant donné que l'acide fluorhydrique devient fortement diluée dans l'eau.

5.5.6 Exemple de calcul. – Vingt tonnes de fluorure d'hydrogène anhydre se sont déversées dans du sable limoneux. La température est de 20 °C et le rayon de déversement de 8,6 m. Calculer la profondeur de migration au bout de 95 minutes et évaluer la perte correspondante par évaporation.

Etape 1 Définir les paramètres
Masse déversée = 20 000 kg (20 tonnes)
Température = 20 °C
r = 8,6 m
Sol = sable limoneux
Profondeur de la nappe phréatique = 13 m
Temps écoulé depuis le déversement (tm) = 95 mn

Étape 2 Calculer la surface de déversement
$A = \pi r^2 = 232\ m^2$

Étape 3 Évaluer la profondeur de migration (B) au moment (tm)
Dans le sable limoneux, B = 9,2 m lorsque tm = 95 mn
La nappe phréatique n'a pas encore été atteinte à ce moment-là

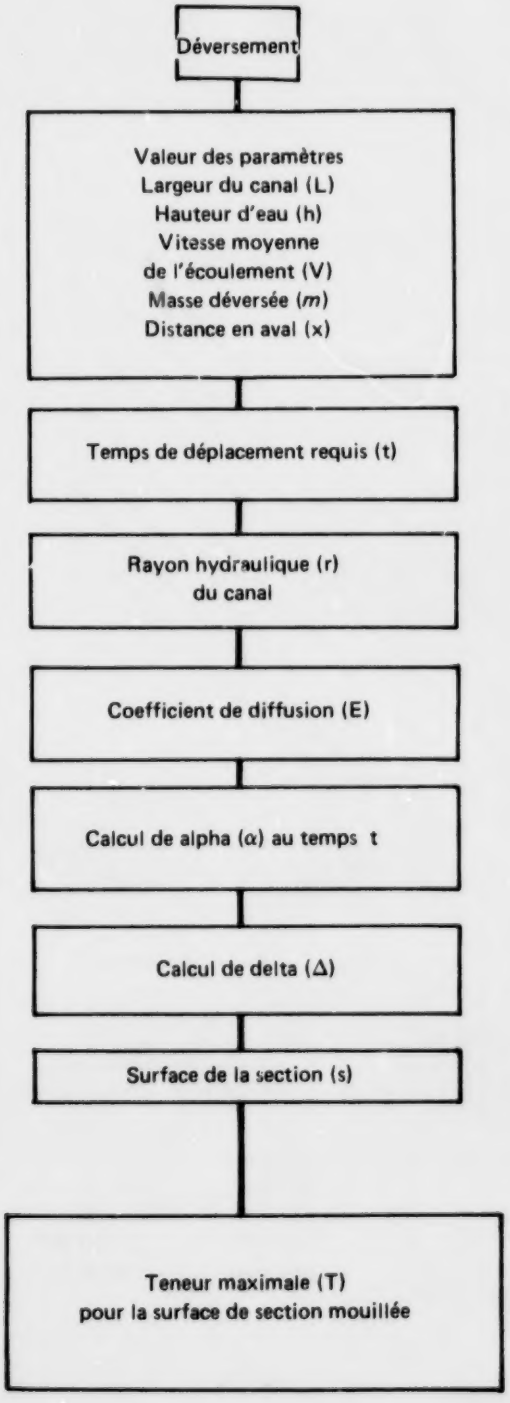
Étape 4 Évaluer les pertes dues à l'évaporation
Taux d'évaporation de la nappe à 20 °C (d'après la section 5.3)
$q = 5{,}69\ g/m^2 \cdot s$
Perte par évaporation (E) = q x tm
$E = 5{,}69\ g/m^2 \cdot s \times 232\ m^2 \times 95\ mn \times 60\ s/mn \times 10^{-3}\ kg/g$
E = 7,520 kg
E = 38 p. 100 de la quantité totale déversée.

Nota: La diffusion dans l'eau réduirait ce taux d'évaporation.

Figure 25

FLUORURE D'HYDROGÈNE

ÉTAPES À SUIVRE POUR CALCULER LA TENEUR EN POLLUANT DANS UNE RIVIÈRE NON SOUMISE AUX MARÉES



Étape 1	Par observation ou évaluation	
	L =	m
	h =	m
	V =	m/s
	m =	tonnes
	x =	m
Étape 2	t =	mn (fig. 26)
Étape 3	r =	m (fig. 27)
Étape 4	E =	m^2/s (fig. 28)
Étape 5	α =	(fig. 29)
Étape 6	Δ =	(fig. 30)
Étape 7	s = L x h =	m^2
Étape 8	T =	ppm (fig. 31)

Figure

FLUORURE D'HYDROGÈNE

DISTANCE EN FONCTION DU TEM

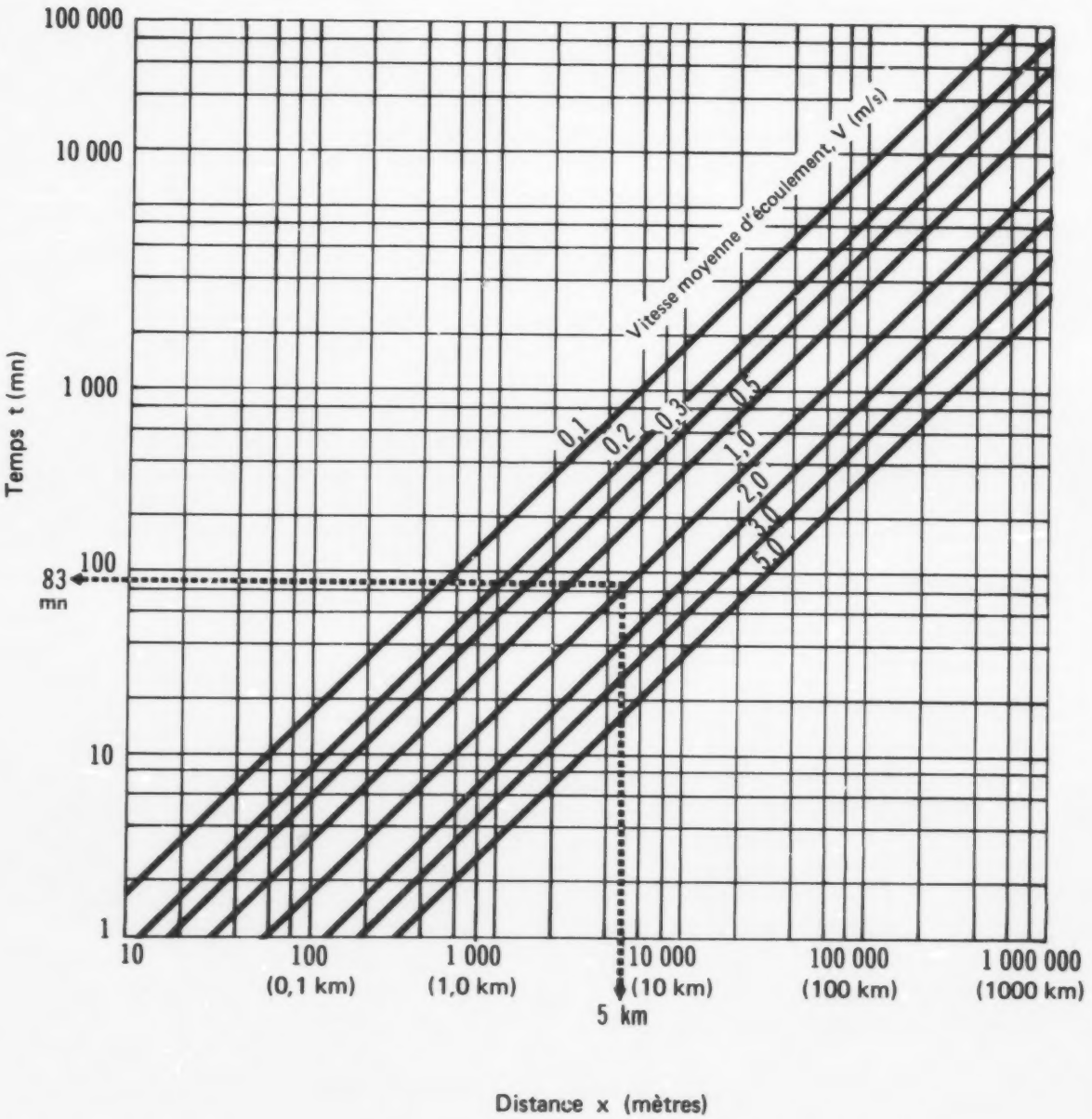


Figure 27

FLUORURE D'HYDROGÈNE

RAYON HYDRAULIQUE EN FONCTION DE LA LARGEUR DU CANAL

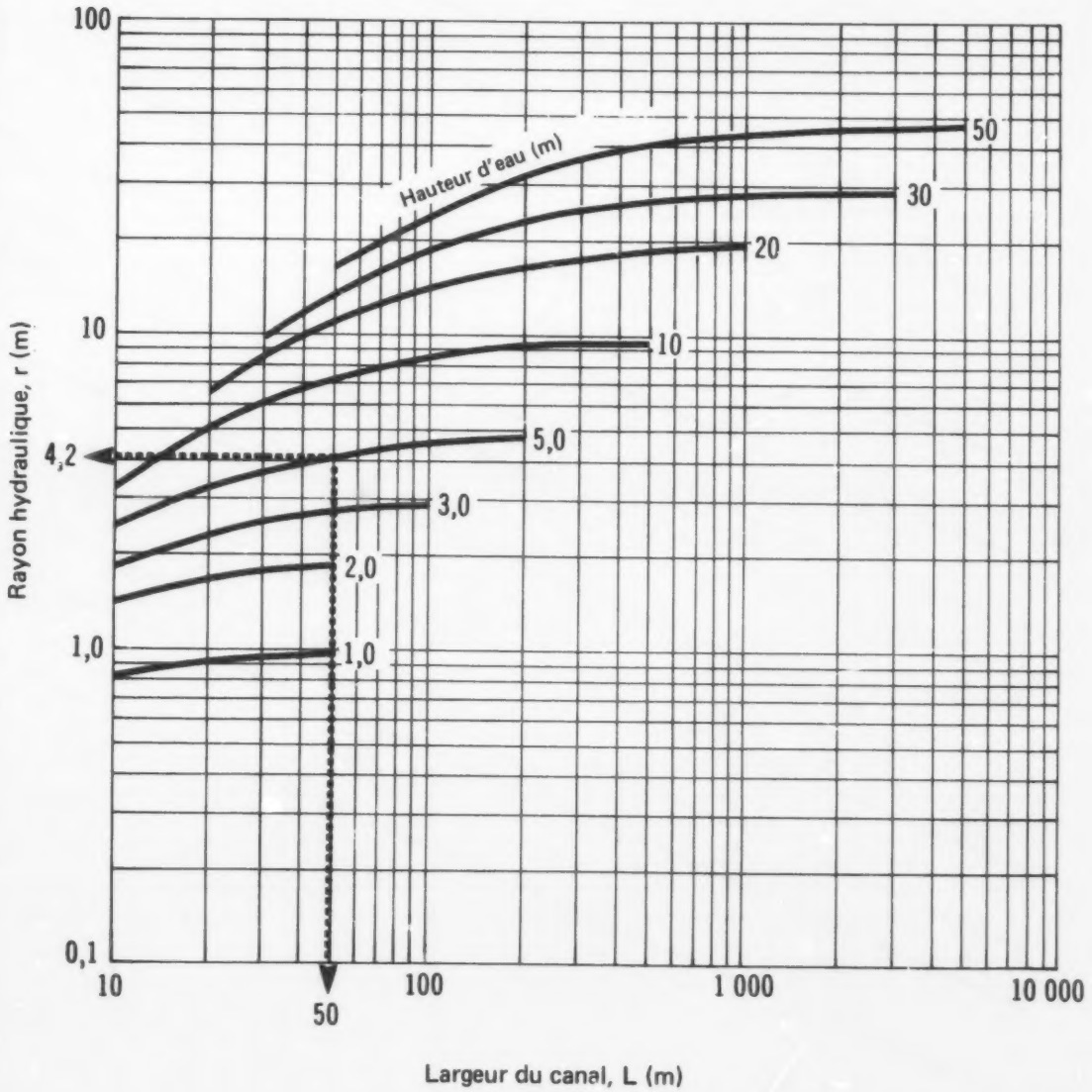


Figure 2

FLUORURE D'HYDROGÈNE

COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENT
EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQU

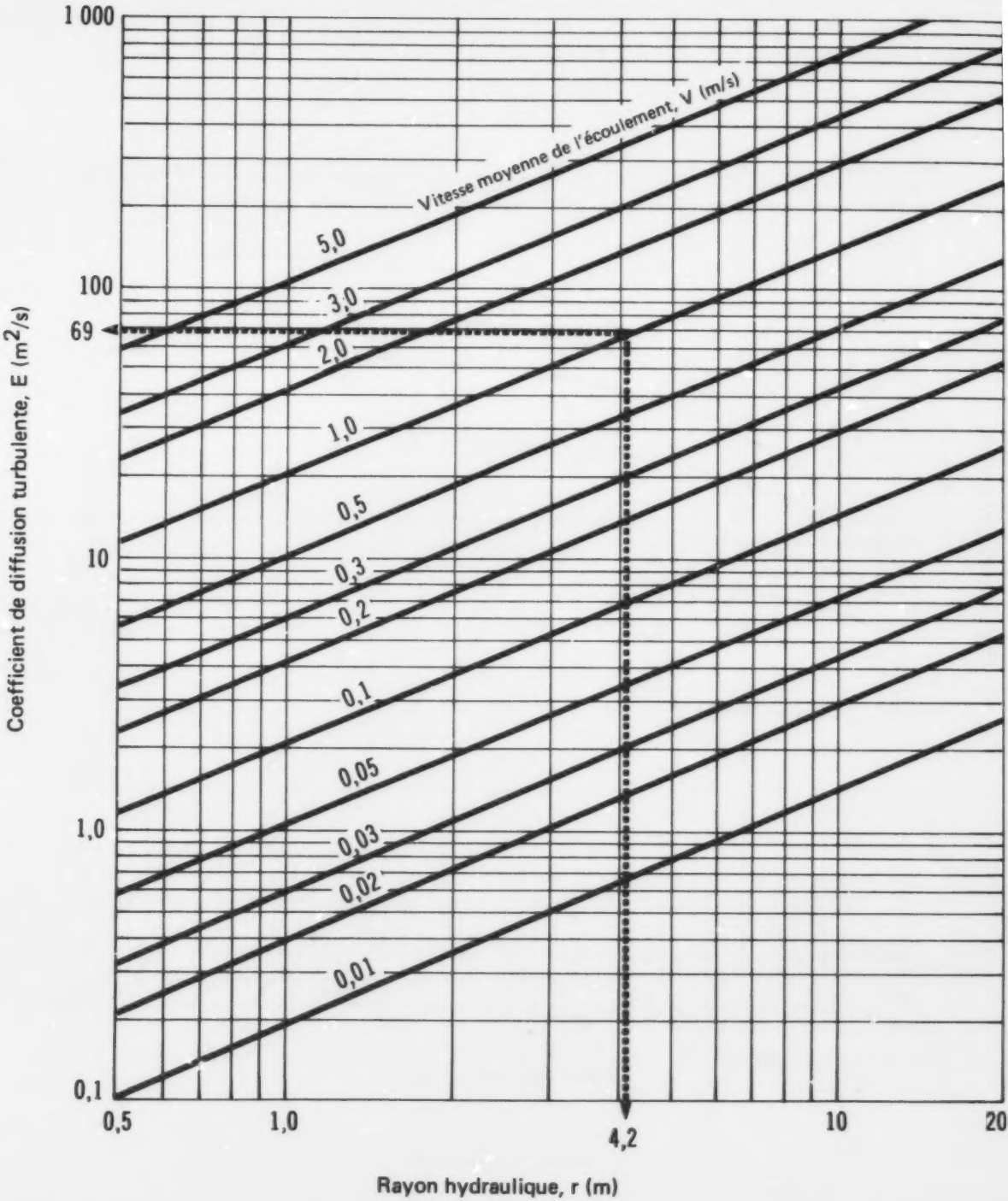
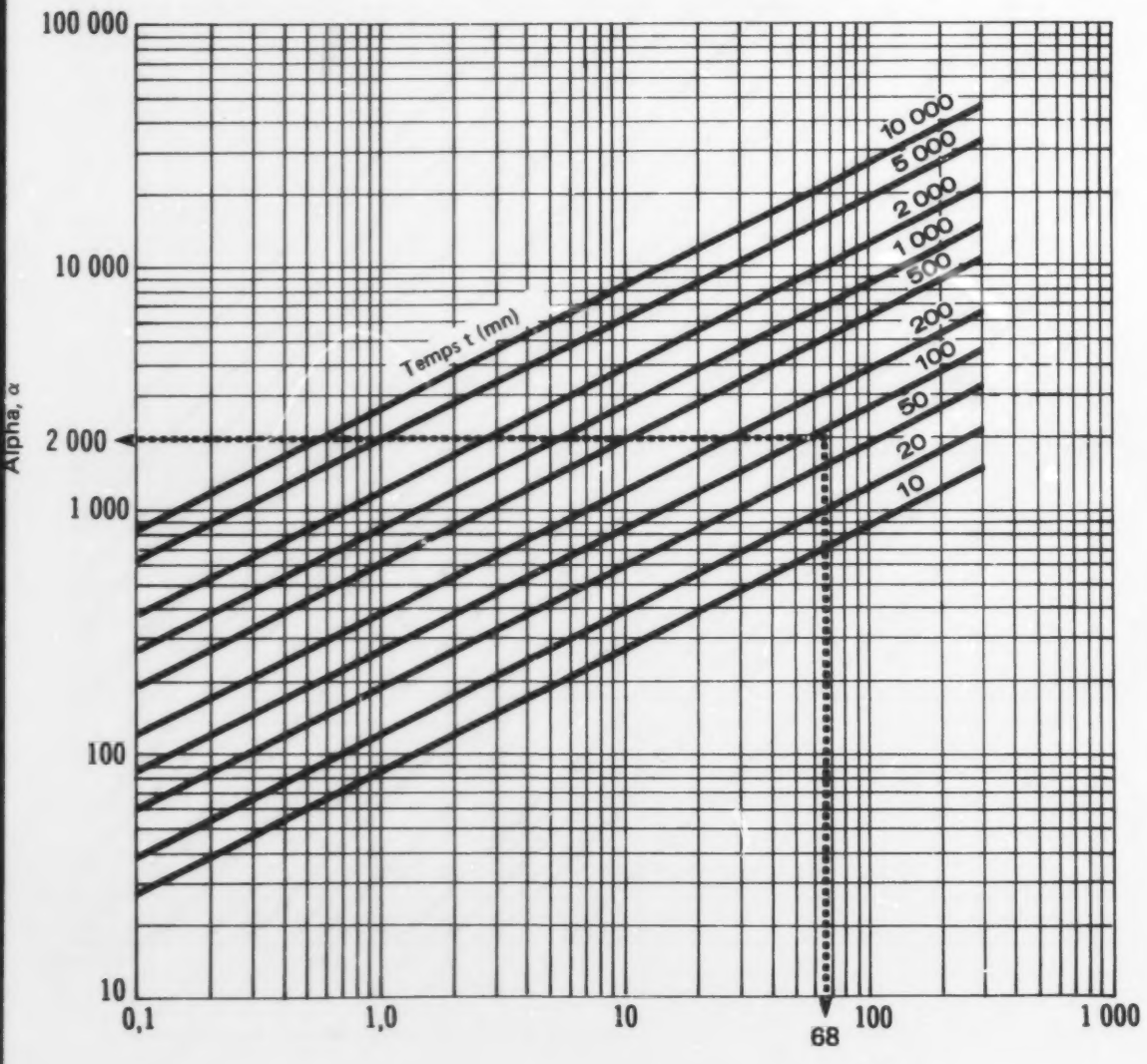


Figure 29

FLUORURE D'HYDROGÈNE

ALPHA EN FONCTION DU COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE



FLUORURE D'HYDROGÈNE

Figure 30

ALPHA EN FONCTION DE DELTA

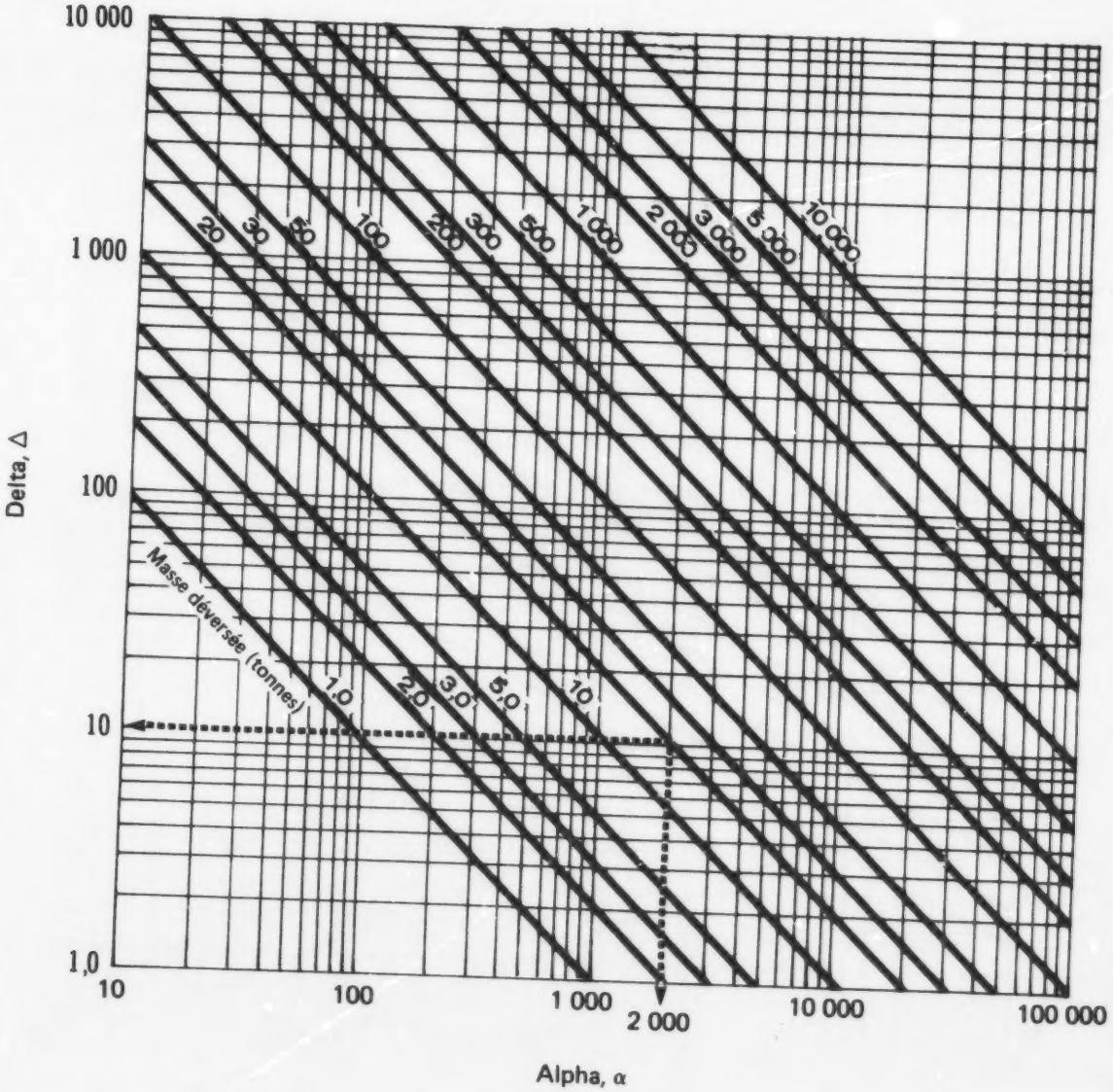


Figure 31

FLUORURE D'HYDROGÈNE

TENEUR MAXIMALE EN FONCTION DE DELTA

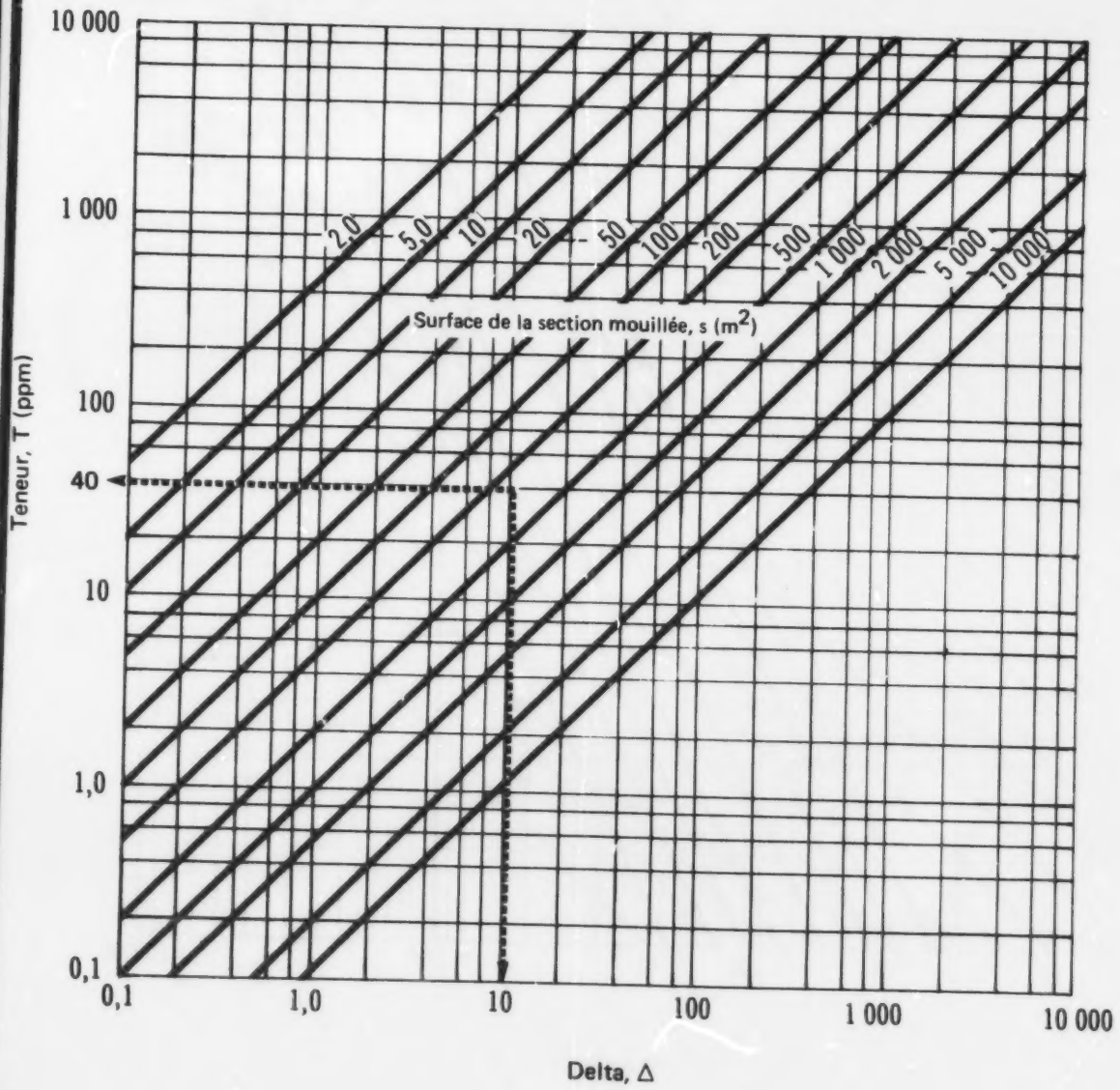


Figure 32

FLUORURE D'HYDROGÈNE — **VOLUME D'EAU EN FONCTION DU RAYON**

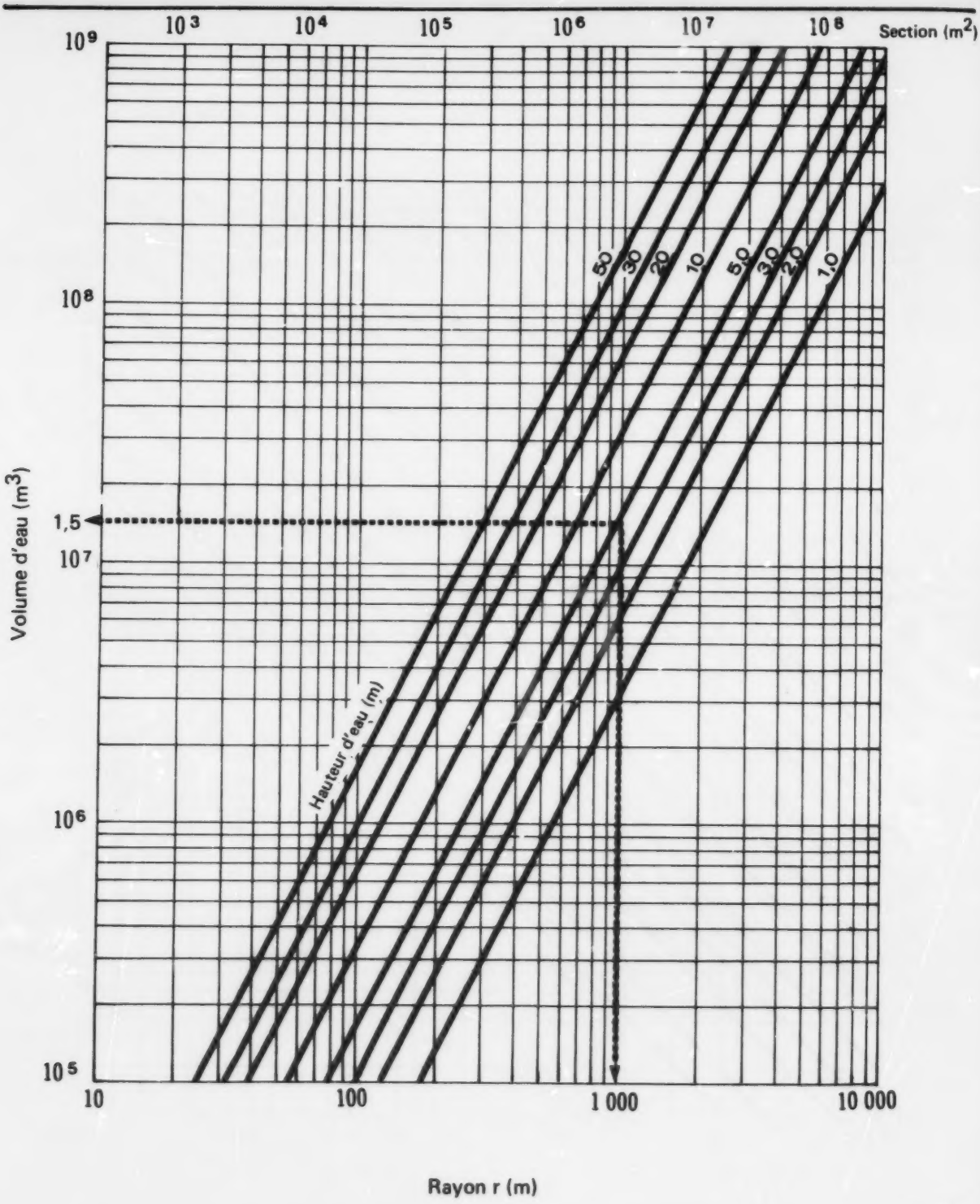


Figure 33

FLUORURE D'HYDROGÈNE — **TENEURS MOYENNES EN FONCTION DU VOLUME D'EAU**

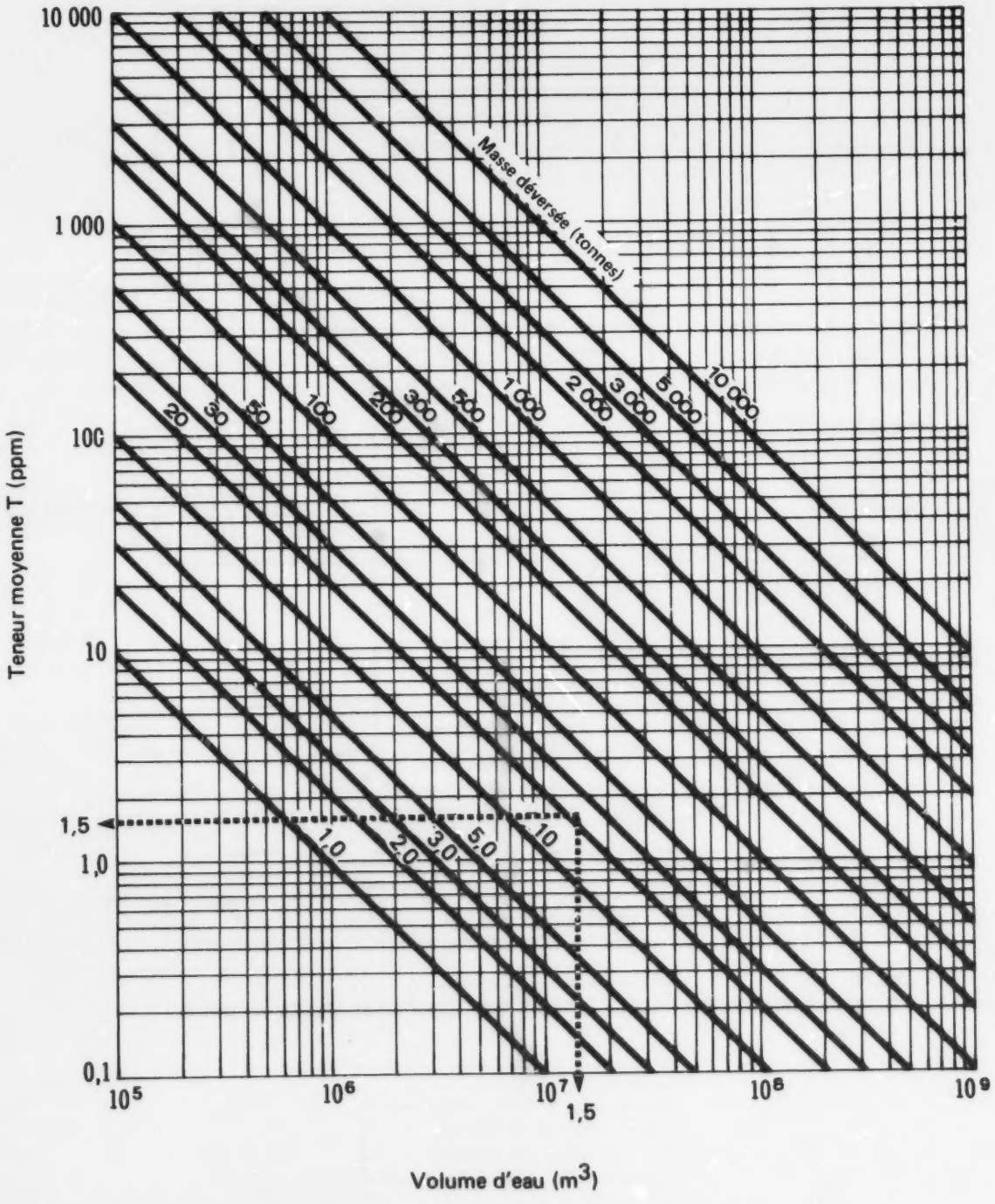
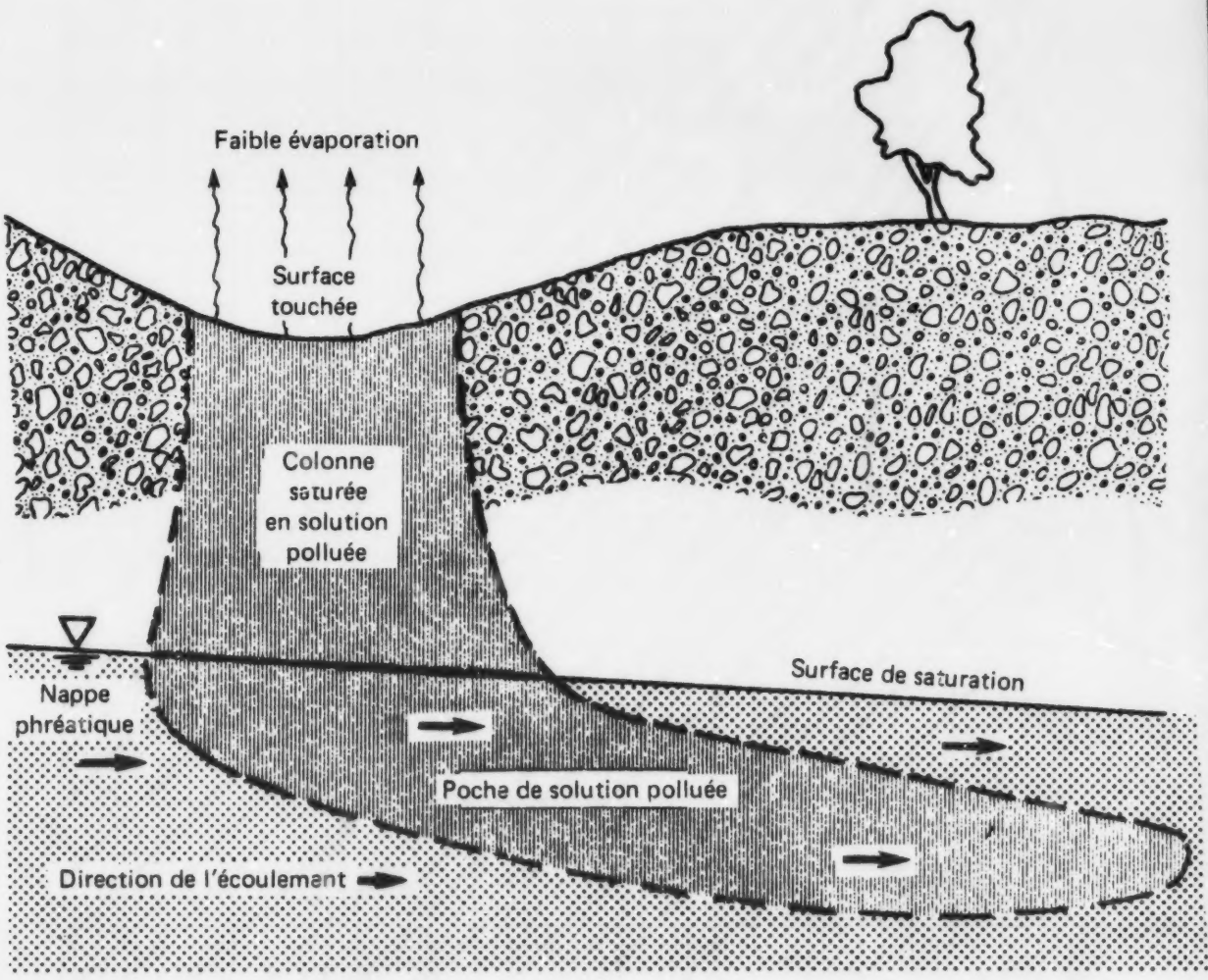


Figure 34

FLUORURE D'HYDROGÈNE **MIGRATION DANS LE SOUS-SOL**



Sol: sable grossier
Porosité = 0,35, Perméabilité intrinsèque = 10^{-9} m^2, Capacité au champ = 0,075

Figure 35

FLUORURE D'HYDROGÈNE — **PLAN D'UTILISATION DES NOMOGRAMMES**

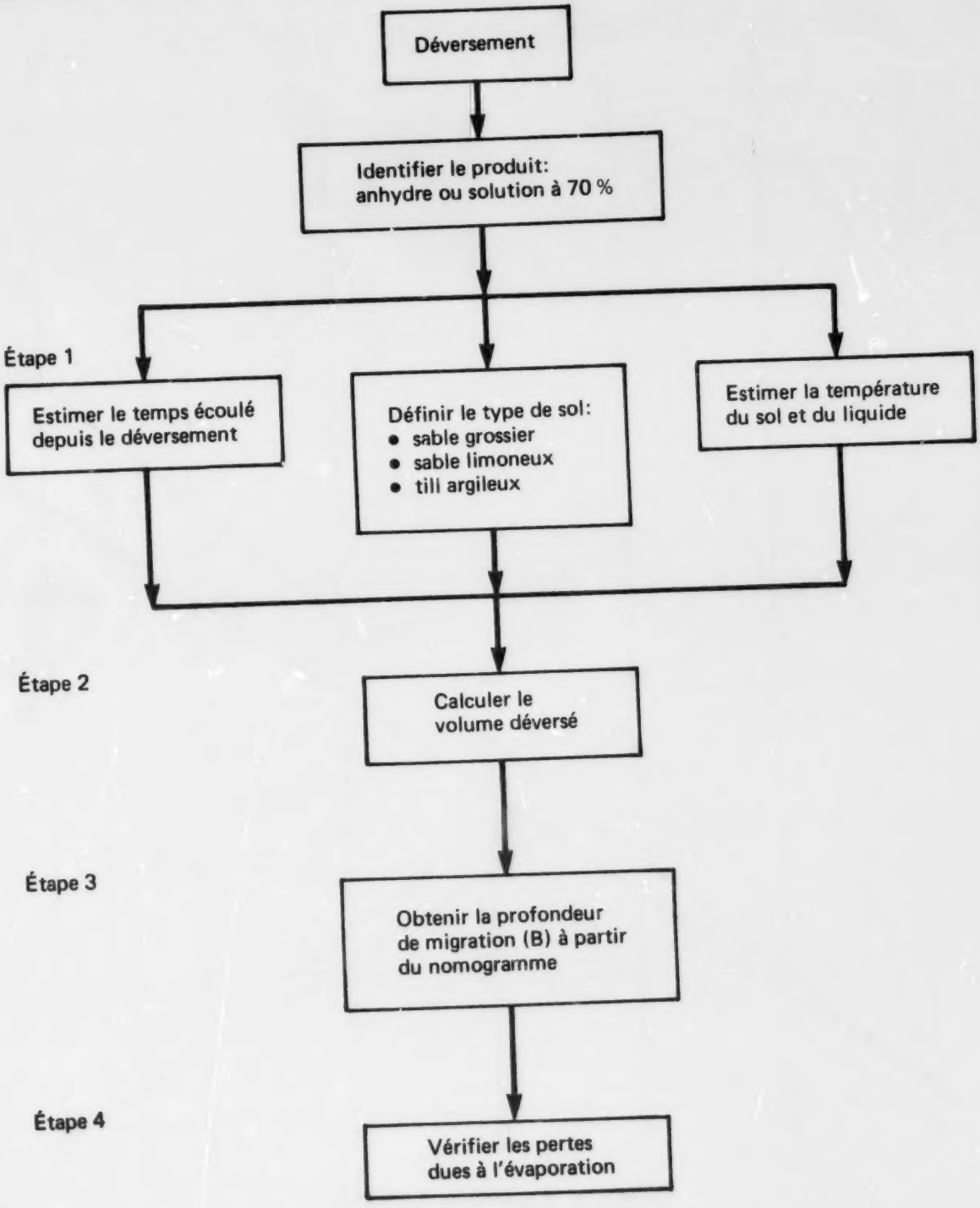


Figure 38

FLUORURE D'HYDROGÈNE

MIGRATION DANS LE SABLE GROSSIER

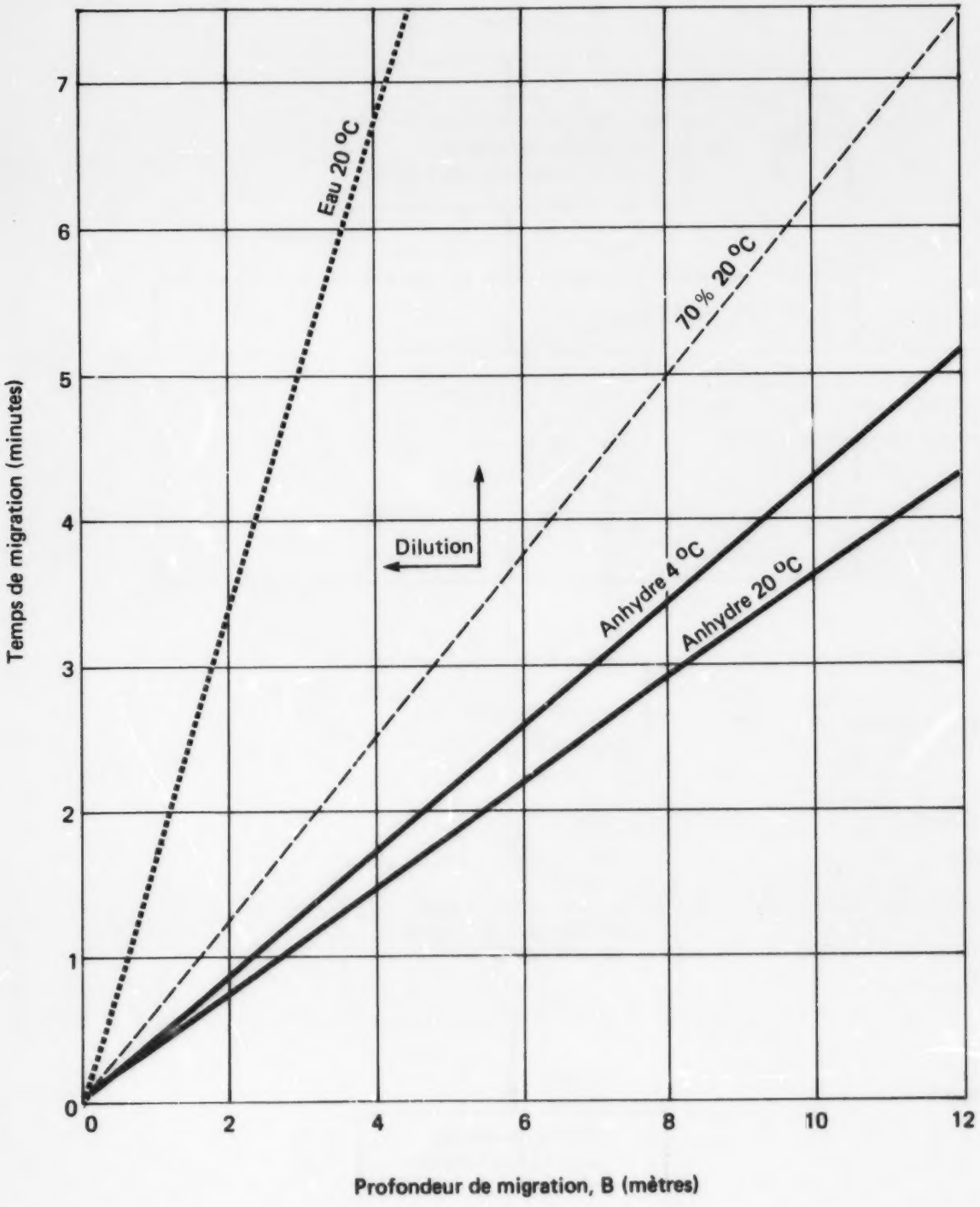


Figure 37

FLUORURE D'HYDROGÈNE — **PÉNÉTRATION DANS LE SABLE LIMONEUX**

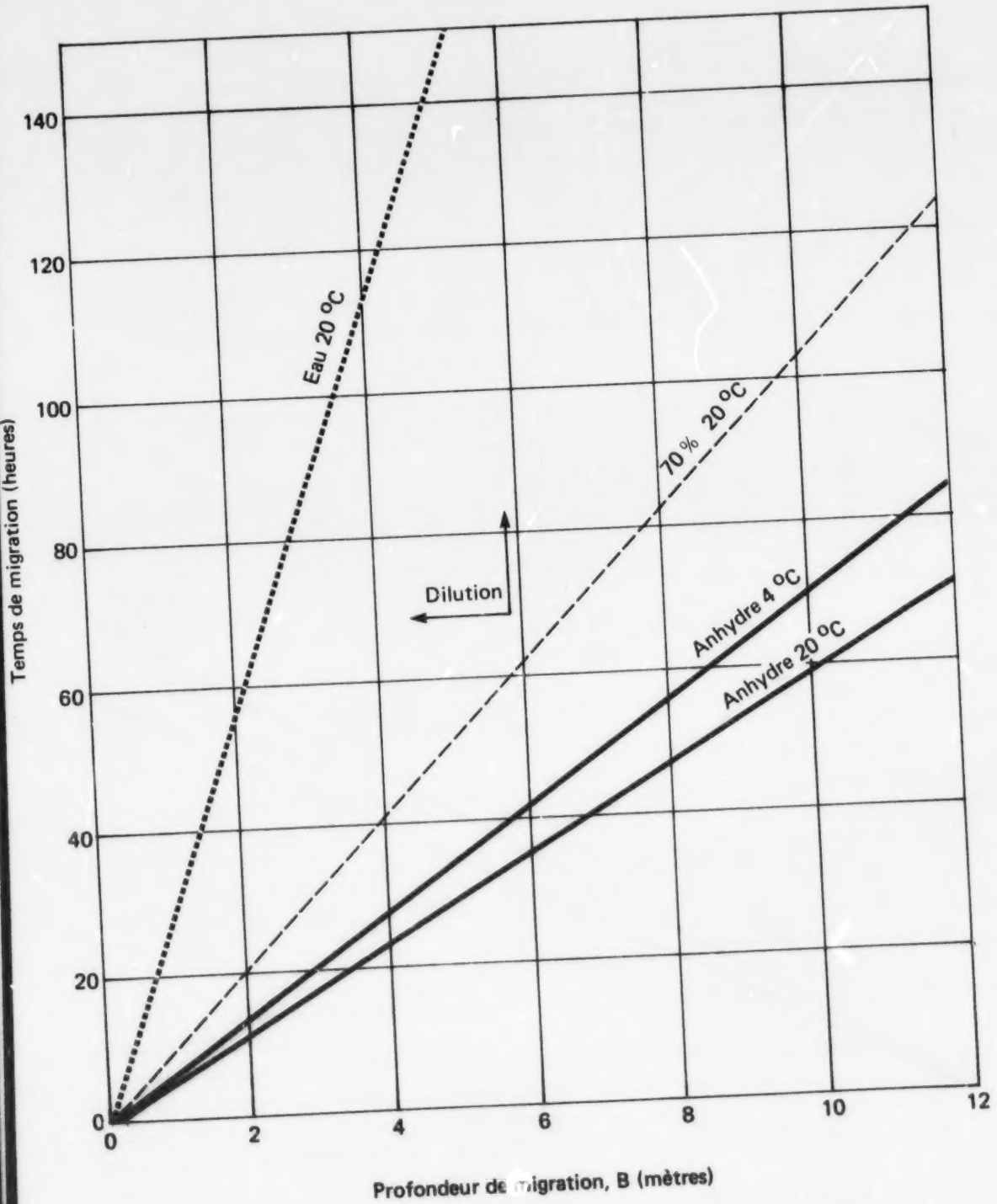
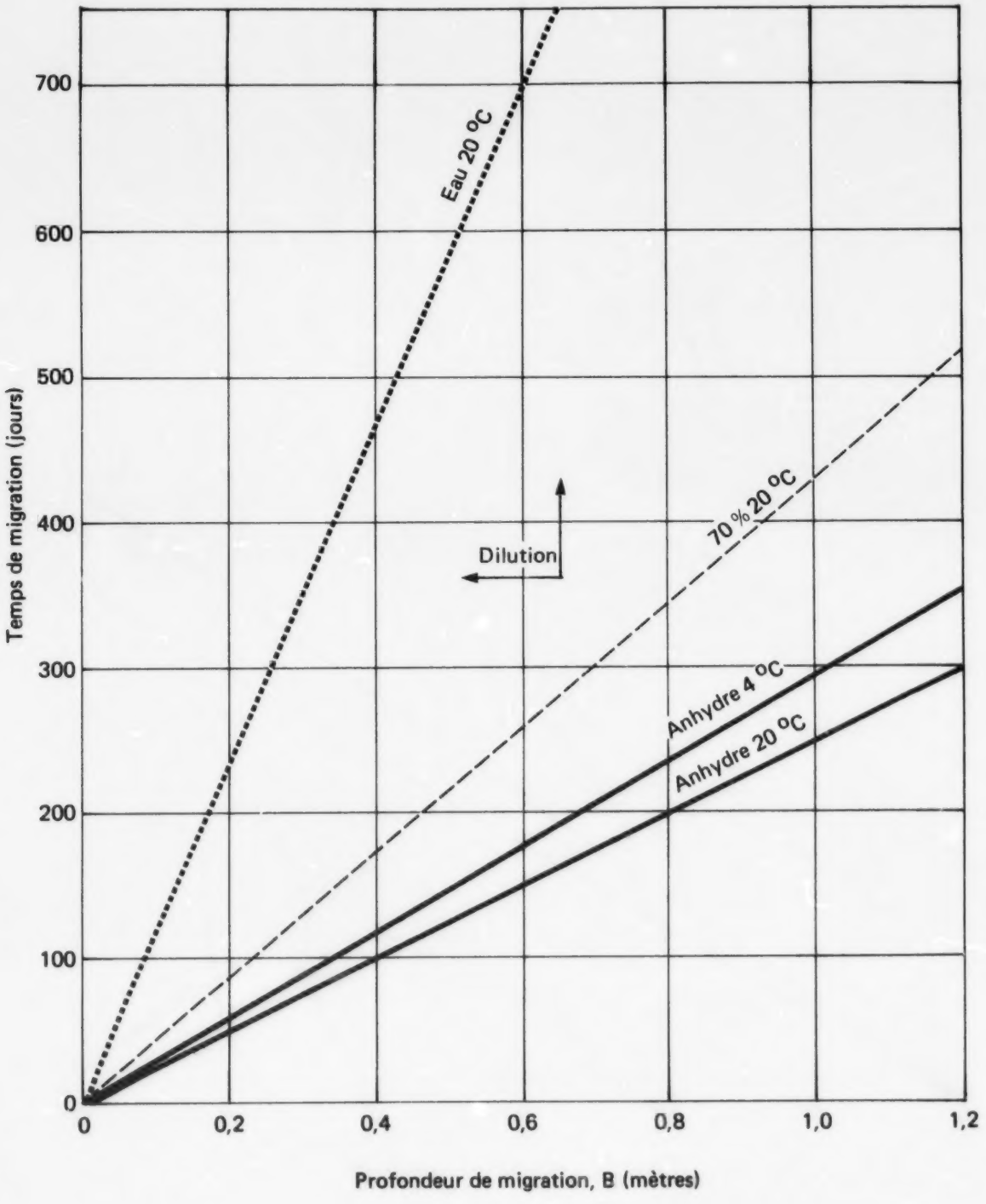


Figure 38

FLUORURE D'HYDROGÈNE — MIGRATION DANS LE TILL ARGILEUX



6 PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

6.1 Limites maximales admissibles

6.1.1 Qualité de l'eau

6.1.1.1 Situation au Canada. – La teneur maximum acceptable de fluorure dans l'eau potable est de 1,5 mg/l (WQS, 1979). L'objectif est de 1 mg/l de fluorure dans toutes les régions du Canada, à l'exception des zones arctiques et sub-arctiques pour lesquelles des teneurs en 1,2 mg/l ont été autorisées (Lignes de conduite sur les eaux canadiennes, 1978; Objectif de traitement des eaux, 1978).

6.1.1.2 Autres pays. – La limite recommandée aux États-Unis en ce qui concerne le fluorure est de 1,2 mg/l (DWS, 1973). L'Organisation mondiale de la santé (OMS) recommandait en 1961 un maximum de 1,5 mg/l (WQCDB-2, 1971). L'Organisme de la santé européen recommande 0,5 mg/l; la Suède, 1,5 mg/l; la Bulgarie, entre 0,7 et 1 mg/l; la Tanzanie, 8 mg/l (Jorgensen, 1979).

6.1.2 Qualité de l'air

Polluant	Durée	Teneur moyenne ou quantité totale de polluants à 10 °C et à 101,3 kPa	Référence
Fluorure (gazeux) du 15 avril au 15 octobre	Moyenne toutes les demi-heures 24 heures 30 jours	4,3 $\mu g/m^3$ 0,86 $\mu g/m^3$ 0,34 $\mu g/m^3$ (exprimée sous forme d'acide fluorhydrique)	E.P.Act de l'Ontario, 1971
Quantité totale de fluorure (gaz et particules) du 15 avril au 15 octobre	Moyenne toutes les demi-heures 24 heures 30 jours	8,6 $\mu g/m^3$ 1,72 $\mu g/m^3$ 0,69 $\mu g/m^3$ (exprimée sous forme d'acide fluorhydrique)	E.P.Act de l'Ontario, 1971
Quantité totale de fluorure (gaz et particules) du 16 octobre au 14 avril	Moyenne toutes les demi-heures 24 heures 30 jours	17,2 $\mu g/m^3$ 3,44 $\mu g/m^3$ 1,38 $\mu g/m^3$ (exprimée sous forme d'acide fluorhydrique)	E.P.Act de l'Ontario, 1971

6.2 Toxicité aquatique

6.2.1 Cote de toxicité aux États-Unis. – Aucune cote de toxicité aquatique n'a été attribuée (RTECS, 1979).

Les eaux de mer ne doivent pas donner plus de 1/10 de TL 50 sur une période de 96 heures en ce qui concerne les organismes les plus sensibles au fluorure. On indique que les teneurs en fluorure égales ou supérieures à 1,5 mg/l présentent un risque pour l'environnement marin, les taux inférieurs à 0,5 mg/l ne présentant que des risques minimes (WQC, 1972; WQS, 1979).

6.2.2 Toxicité mesurée

6.2.2.1 Toxicité en eau douce

Données sur la toxicité

Teneur* (mg/l)	Durée (heures)	Espèce	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
1,5	Non indiqué	Oeufs de poissons	Affecte l'éclosion		WQC, 1972
de 2,3 à 7,3	Non indiqué	Truite arc-en-ciel	TLm	18 °C, douce	WQC, 1963
entre 5,9 et 7,5	Non indiqué	Truite	TLm	7,5 °C, douce	WQC, 1963
64	240	Truite	TLm		WQC, 1963
419	96	Gambusie	TLm	Turbide	WQC, 1963
358	Non indiqué	Truite arc-en-ciel	Toxique	Douce	Klein, 1957

Toxicité pour les poissons

Teneur* (mg/l)	Durée (heures)	Espèce	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
60 (acide fluorhydrique)	Non indiqué	Poisson	Létal		WQC, 1963
40 (acide fluorhydrique)	Non indiqué	Poisson	Dangereux		WQC, 1963
120 (F^-)	96	Cyprin doré	Mortel		WQC, 1963
1000 (F^-)	12	Cyprin doré	Mortel	Douce	WQC, 1963
1000 (F^-)	60	Cyprin doré	Mortel	Dure	WQC, 1963

Toxicité pour les vertébrés

Teneur (mg/kg)	Espèce	Résultat	Source
112	Grenouille	DL min. par voie sous-cutanée	RTECS, 1979

Toxicité pour les micro-organismes

Teneur* (mg/l)	Durée (heures)	Espèce	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
270	Non indiqué	Daphnée	Seuil limite	23 °C	WQC, 1963
95	96	*Scenedesmus*	Seuil limite	24 °C	WQC, 1963
180	96	*E. coli*	Seuil	27 °C	WQC, 1963
1700	Non indiqué	Protozoaires; rotifères	Létal		WQC, 1963

*Ces chiffres valent pour les ions fluorure.

6.2.2.2 Toxicité dans l'eau salée

• Pour les poissons

Teneur* (mg/l)	Durée (heures)	Espèce	Résultat	Caractéristiques de l'eau	Source
100	96	Mulet	Aucun effet		Hemens, 1972
52	72 jours	Mulet	Détérioration physique	Salinité	Hemens, 1972
• Pour les invertébrés					
100	96	Pénées	Aucun effet		Hemens, 1972
7,2	108	Moules grises	Toxique		Hemens, 1972
52	72 jours	Crabes	Détérioration physique	Salinité	Hemens, 1972
52	72 jours	Crevettes	Affecte la reproduction	Salinité de 20 %	Hemens, 1972
De 0,9 à 4,5	Non indiqué	Homards	Non toxique		WQC, 1963

*Ces chiffres valent pour les ions fluorure.

6.2.3 Études aquatiques. – Les basses températures semblent limiter les réactions toxiques. La dureté de l'eau permet aux poissons de résister plus longtemps. Lorsque le pH passe en-dessous de 5, de très nombreuses formes de vie aquatique disparaissent (EPA-440/4-75-009).

6.3 Toxicité pour les autres éléments du biote

6.3.1 Bétail. – La quantité maximum d'éléments présents dans l'eau qui peut être tolérée par le bétail est difficile à définir si l'on s'en tient aux expériences que l'on a réalisées jusqu'à présent. Les différentes espèces, le volume et la fréquence de la consommation d'eau, la présence d'autres types de fluorure dans le régime alimentaire ainsi que l'âge des animaux, jouent tous un rôle. On a recommandé de ne pas dépasser 2 mg/l de fluorure dans l'eau que boit le bétail. Certaines taches pourront apparaître sur les dents des animaux avec une telle concentration, mais sans remettre véritablement en cause la santé des animaux ni être absorbées dans la viande, les oeufs ou le lait (WQC, 1972). En Ontario, la quantité maximum de fluorure recommandée dans le fourrage devant être consommé par le bétail est de 35 mg/kg (poids à sec) (E.P.Act de l'Ontario, 1971). Le fluorure ingéré par les animaux est surtout accumulé dans leurs os. Alors que les animaux adultes ont normalement des concentrations d'environ 500 ppm dans leurs os, il faut des concentrations de 5000 ppm avant que des signes visibles apparaissent. Des études ont révélé une séquence dans laquelle les effets de la contamination par le fluorure apparaissent, soit les lésions des dents, surtout les incisives; l'hyperostoisis ou développement exagéré des os; la claudication; l'anorexie; la diminution de la production de lait et de la reproduction. Les deux derniers effets semblent découler de l'absorption réduite d'aliments à cause de l'anorexie. Au cours d'une étude, le bétail a été alimenté au fourrage contenant de 600 à 1200 ppm de fluorure résultant en une diminution de 50 p. 100 de leur absorption d'aliments. Une absorption continue de 40 à 50 ppm de fluorure a pour résultat la destruction des incisives, ce qui nuit au bétail qui pâture. Les niveaux non néfastes de fluorure pour le bétail sont indiqués ci-après (PB 294276):

Source de fluorure

Animal	Fluorure soluble	Minerai de phosphate
Femelle laitière	30 – 50	60 – 100
Bovin de boucherie	40 – 50	65 – 100
Mouton	70 – 100	100 – 200
Porc	70 – 100	100 – 200
Poulet	150 – 300	300 – 400
Dinde	300 – 400	–

6.3.2 Plantes

6.3.2.1 Toxicité mesurée

Cultures

Teneur (mg/m^3)	Durée (heures)	Espèce	Effet	Source
0,083 (acide fluorhydrique)	de 3 à 4	Plantes	Effet minime	DPIMR, 1981
403 kg/ha (NaF)	Non indiqué	Sarrasin	Rendement diminué au pH 4,5 (sol); aucun dommage lorsque le pH est supérieur à 5,5	WQC, 1972
0,9 ng F/m^3 (fluorure d'hydrogène gazeux)	96	Blé (*Triticum aestivum*)	Rendement diminué (épis plus petits); aucun dommage causé aux feuilles	MacLean, 1981
0,5 ng F/m^3	32 jours	Maïs	Lésions chlorotiques elliptiques sur les feuilles; accumulation de fluor dans les feuilles	Mandl, 1980
Jusqu'à 3 $\mu g/m^3$ (fluorure d'hydrogène gazeux)	Non indiqué	Glaïeuls	Réduction de la teneur en chlorophylle; accumulation de matières sèches et baisse de productivité; dommages graves à 3 $\mu g/m^3$	Pandey, 1979
10 (fluorure d'hydrogène gazeux)	24	Riz (Milyang 23; Jinheung)	Destruction de la surface des feuilles; diminution de la teneur en sucre des feuilles	Kim, 1979
36 p. 100 (acide fluorhydrique) (dans le sol)	Non indiqué	Cresson de jardin (*Lepidium sativum*) Haricots non grimpants (*Phaseolus vulgaris*)	Diminution considérable de la germination et de la croissance	Tauchnitz, 1979
de 38,7 à 46,6 (F^-)	Non indiqué	Raisins (vignes)	Divers effets phytopathologiques: lésions diffuses débouchant sur une nécrose presque totale; les feuilles ont absorbé la plupart du fluor	Quaroni, 1979
Arbres				
de 0,25 à 0,3	Non indiqué	Pins d'Écosse, mélèzes (âgés de 13 à 14 ans)	Apparence rapidement modifiée, augmentation de l'hydratation et de la teneur en azote, diminution de la réduction du sucre	Rozhkov, 1980

Teneur (mg/m^3)	Durée (heures)	Espèce	Effet	Source
0,25	1/2 (chaque jour)	Pins d'Écosse, mélèzes (âgés de 3 à 5 ans)	Effets dommageables au bout de 7 à 8 jours	Rozhkov, 1980
0,021	6 heures par jour (2 jours)	Pins d'Écosse, (plants)	Modifications du rythme d'échange carbonique: baisse de la photosynthèse, stimulation de la respiration	Lorenc-Plucinska, 1980

Le fluorure d'hydrogène gazeux attaque directement les feuilles, surtout à de fortes teneurs. À des teneurs faibles, le fluorure d'hydrogène est absorbé par les feuilles et les effets sur la plante dépendent du niveau et du temps d'exposition. Le degré de sensibilité peut varier même chez une seule espèce; comme le démontre le tableau suivant utilisant diverses cultures commerciales (PB 29427):

Exposition maximale au fluorure d'hydrogène
(avant les signes évidents de dommages)

	Espèces sensibles		Espèces résistantes	
Culture	Teneur (ppb)	Exposition	Teneur (ppb)	Exposition
Maïs	2	10 jours	800	4 heures
Tomate	10	100 jours	700	6 jours
Luzerne	100	120 jours	700	10 jours
Sorgho	7	15 jours	15	3 jours

La plupart des cultures, de même que plusieurs espèces de légumes et d'arbres feuillus sont assez résistants. Quelques espèces plus sensibles aux fluorures sont les conifères, les fruits, les baies et les herbes. Le dommage à ces espèces est généralement évident à des teneurs entre 0,5 ppb et 1,2 ppb, si l'exposition dure plusieurs jours. En comparaison, de 5 à 10 ppb de fluorure sont normalement accumulés par la plupart des plantes en l'absence d'une source atmosphérique. L'effet le plus visible du fluorure sur la végétation est la nécrose, ou brûlure du bout des feuilles. Le dommage est caractérisé par la décoloration sur la bordure de la feuille, où le fluorure s'accumule. L'exposition au fluorure peut aussi causer des anomalies ou la réduction de la capacité de reproduction (PB 24276).

6.4 Dégradation

Le fluorure d'hydrogène n'est pas biodégradable. La dilution ainsi que la capacité tampon naturelle réduiront l'acidité; lorsque les ions calcium sont présents dans l'eau, le fluorure de calcium très soluble se précipitera (OHM-TADS, 1981; DPIMR, 1981).

6.5 Sol

6.5.1 Effets sur la composition chimique des sols. – Les sols peuvent lier les fluorures si le pH est supérieur à 6,5. Une teneur élevée en calcium aura le même effet (DPIMR, 1981).

Les sols neutres ou alcalins étant en mesure d'immobiliser les fluorures, on permet une teneur maximale relativement élevée s'appliquant à un usage continu sur ces sols. Les seuils de teneur maximale ainsi recommandés sont de 1,0 mg/l en cas d'usage continu sur l'ensemble des sols et de 15 mg/l s'il s'agit d'un usage sur 20 ans dans des sols neutres ou alcalins à texture fine (WQC, 1972; WQS, 1979).

7 EFFETS SUR LA SANTÉ HUMAINE

Les données concernant les effets sur la santé du fluorure d'hydrogène ont trait principalement aux expositions de courte durée provenant d'une inhalation ou aux déversements accidentels de fluorure d'hydrogène sous forme acide ou aqueuse. Les données se référant aux expositions de longue durée se trouvent dans les études de l'exposition au fluorure d'hydrogène dans la vie professionnelle.

Depuis 1977, on n'a rapporté qu'un seul travail de recherche sur la toxicologie du fluorure d'hydrogène dans TOX TIPS (résumé des recherches en cours). Ce travail portait sur l'exposition de cobayes à des poussières contenant du fluorure.

L'ensemble des travaux publiés en matière de toxicologie du fluorure d'hydrogène ont été passés en revue récemment par le National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).

Les données toxicologiques qui sont résumées dans cet ouvrage ne proviennent que de documents de référence sûrs. Il convient de noter qu'une partie de ces données porte sur de faibles niveaux d'exposition de longue durée et ne s'applique peut-être pas directement aux cas des déversements.

7.1 Normes d'exposition recommandées

Les normes d'exposition recommandées pour le fluorure d'hydrogène ont été établies afin de prévenir la fluorose. Les données tirées des études de la seule exposition de l'homme au fluorure d'hydrogène sont en nombre limité et ne permettent pas d'élaborer une norme s'opposant à la fluorose. Les études comparatives d'absorption et de sécrétion nous indiquent clairement que le métabolisme du fluorure chez l'homme reste le même, que l'ion fluorure soit absorbé sous forme gazeuse ou sous forme de particules de fluorure non organique. En conséquence, les données ayant servi à mettre au point la norme tiennent compte des études d'exposition au fluorure non organique.

Seules les études s'appliquant précisément à l'exposition au fluorure d'hydrogène ont été consignées dans le présent document. Les directives établies par les provinces canadiennes sont généralement les mêmes que celles de l'USA-ACGIH, sauf indication contraire.

Directives (temps)	Origine	Teneur recommandée	Référence
	Teneur moyenne pondérée au fonction du temps (MPT)		
TLV®(8 h)	USA-ACGIH	2,5 mg/m^3 (3,0 ppm) (exprimé sous forme de F)	TLV, 1981
PEL (8 h)	USA-OSHA	2,5 mg/m^3 (3,0 ppm)	NIOSH/OSHA, 1981
MPT (8 h)	USA-NIOSH	2,5 mg/m^3 (3,0 ppm) (exprimé sous forme de F)	NIOSH, 1976
Non indiqué	ANSI	2,5 mg/m^3 (3,0 ppm)	Doc. TLV, 1980
Teneur maximale admissible	Union Soviétique	(0,5 mg/m^3) 0,6 ppm	Doc. TLV, 1980
Teneur maximale admissible	Tchécoslovaquie	(1 mg/m^3) 1,2 ppm	Doc. TLV, 1980
Teneur maximale admissible	Suède	(2,1 mg/m^3) 2,5 ppm	Doc. TLV, 1980
Teneur admissible	Colombie-Britannique	(2 mg/m^3) 3 ppm	C.-B., 1980
Critères d'exposition (MPT) (8 h)	Ontario	2 mg/m^3 (exprimé sous forme de F) (proposé)	Ont., 1981

Concentrations admissibles (moyennes) (8 h)	Québec	2,5 mg/m^3 (fluorures, exprimé en F)	Québec, 1979
Contamination (moyenne de 8 h)	Saskatchewan	2 mg/m^3 (exprimé sous forme de F) (2,4 ppm)	Sask., 1981
	Limites d'exposition de courte durée (STEL)		
STEL (15 mn)	USA-ACGIH	5,0 mg/m^3 (exprimé sous forme de F)	Doc. TLV, 1980
STEL (15 mn)	USA-OSHA	5,0 mg/m^3	Doc. TLV, 1980
Limite de pollution (moyenne de 15 mn)	Saskatchewan	4,0 mg/m^3 (exprimé sous forme de F)	Sask., 1981
Non indiqué	Suède	2,0 mg/m^3	ILO, 1980
Teneur maximale d'immission	Roumanie	2,0 mg/m^3	ILO, 1980
	Limite d'exposition du public (courte durée) (LEPCD)		
LEPCD	Proposition	3 mg/m^3 (4 ppm) jusqu'à 60 mn (limite de fréquence: 1 h/jour)	PB 203465
LEPCD	Proposition	1 mg/m^3 (1 ppm) jusqu'à 5 h/jour (limite de fréquence: 3 - 4 jours/mois)	PB 203465
	Limite d'exposition du public en cas d'urgence (LEPU)		
LEPU	Proposition	8 mg/m^3 (10 ppm) jusqu'à 10 mn	PB 203465
LEPU	Proposition	4 mg/m^3 (5 ppm) jusqu'à 60 mn	PB 203465
	Autres aspects de la toxicité pour l'homme		
IDLH	USA-NIOSH	20 ppm	Guide NIOSH, 1978
TL min. (30 mn)		50 ppm	RTECS, 1979
TL min. (1 mn)		110 ppm	RTECS, 1979

Indice de toxicité par inhalation (ITI). – L'indice de toxicité par inhalation (ITI) mesure la capacité qu'a une substance de causer des dommages par inhalation. On le calcule de la façon suivante:

ITI = 1315,12 (Pression de la vapeur en mm Hg)/($TLV^{®}$ en ppm)

Fluorure d'hydrogène:

Pression de la vapeur à 20 °C = 103,42 kPa = 775,7 mm Hg

Acide fluorhydrique: (70 p. 100) (forme la plus courante):

Pression de la vapeur à 25 °C = 20 kPa = 150 mm Hg

$TLV^{®}$ = 3 ppm

En conséquence: ITI: Fluorure d'hydrogène = $3,4 \times 10^5$

Acide fluorhydrique = $6,6 \times 10^4$

7.2 Données sur l'irritation

7.2.1 Contact cutané. – Le fluorure d'hydrogène peut pénétrer dans le corps à travers la peau et causer un empoisonnement général de l'organisme. Il s'est produit des cas où un empoisonnement systémique accidentel s'est traduit par de graves symptômes et la mort de la victime (NIOSH, 1976).

En contact avec la peau, le produit cause de graves brûlures et des marques profondes. Certains sujets exposés à des vapeurs du produit ont éprouvé des symptômes cutanés et ces cas ont été consignés avec les résultats des études portant sur l'inhalation du produit.

Il n'existe aucune information sur les effets sur la peau de niveaux d'exposition précis.

7.2.2 Contact avec les yeux

Exposition (teneur et durée)	Effet	Référence
• CHEZ L'HOMME Aspersion accidentelle de fines gouttelettes d'acide fluorhydrique	Perte considérable de l'épithélium cornéen en dépit d'un lavage immédiat à grande eau et d'une irrigation pendant 3 heures avec une solution de chlorure de benzethonium à 0,5 p. 100. Vue normale retrouvée au bout de 19 jours	NIOSH, 1981
entre 2,6 et 4,7 ppm (dans l'air)	Irritation légère	Largent, 1961; NIOSH, 1976
de 0,9 à 2,1 ppm (dans l'air)	Aucun effet relevé sur les yeux	Largent, 1961; NIOSH, 1976

Étant donné les dommages causés par le contact du produit avec la peau, on pourrait s'attendre à ce que les solutions d'acide fluorhydrique ou le fluorure d'hydrogène anhydre mis au contact des yeux causeront un dommage grave, et peut-être même de manière permanente, mais aucun cas de ce type n'a pu être relevé dans la documentation (NIOSH, 1976).

7.3 Seuil des propriétés perceptibles

7.3.1 Odeur. – Odeur âcre et irritante. Valeur du seuil de perception: 28 351 835 (à 20 °C) (AAR, 1981).

Paramètre	Milieu	Teneur	Référence
Éventail des seuils olfactifs	air	de 0,03 à 0,11 mg/m^3	Sadilova, 1968; NIOSH, 1976
Seuil de perception de l'odeur	air	0,04 mg/m^3 (0,04 ppm)	Sadilova, 1968; NIOSH, 1976
Seuil de perception de l'odeur	air	0,04 mg/m^3	Lindberg, 1972; NIOSH, 1976
Seuil supérieur	air	0,036 ppm (0,03 mg/m^3)	AAR, 1981

• CHEZ LA SOURIS		
456 ppm (1 h)	TL 50	DPIMR, 1981
• CHEZ CERTAINS MAMMIFÈRES		
1500 ppm (15 mn)	Mort rapide de la plupart des animaux	DPIMR, 1981
1200 ppm (30 mn)	Dommages aux tissus, mais pas de mort	Patty, 1981
600 ppm (45 mn)	Signes de faiblesse et de mauvaise santé, mais pas de mort	Patty, 1981
< 120 ppm (5 h)	Pas de mort	Patty, 1981
> 60 ppm	Irritation grave. Les yeux restaient fermés; attaques de toux et d'éternuement plus fréquentes, respiration ralentie, écoulement nasal et oculaire important	Patty, 1981
< 60 ppm	Légère irritation causant toux et éternuement	Patty, 1981
29 ppm	Aucune mort	Patty, 1981
	B. Exposition de longue durée	
• CHEZ L'HOMME		
13 à 25 ppm (5 ans par intervalle)	Fluorose osseuse du bassin et de la vertébrale de 10 personnes. Hémoglobine et radiographie de la cage thoracique normales	Machle et Evans, 1940; NIOSH, 1976
4,7 ppm (6 heures par jour, de 10 à 50 jours)	Toléré sans conséquences graves. Rougeur de la peau, brûlure et irritation du nez, de la peau et des yeux à des teneurs supérieures à 3 ppm	Doc. TLV, 1980
< 4,3 ppm (milieu professionnel)	Seuil d'accroissement minimal de dépôt de fluor dans les os	Doc. TLV, 1980
< 3 ppm (HF et SiF_4)	Aucun accroissement des symptômes respiratoires	Doc. TLV, 1980
1,03 ppm (milieu professionnel)	Aucune modification notable de la fonction pulmonaire	Doc. TLV, 1980
Non précisé (de 2 à 33 ans)	Vingt-quatre travailleurs sur les 40 de l'échantillon ont subi une modification des trabécules des mâchoires. Quelques caries dentaires. Une certaine hypérémie transitoire de la peau exposée	Dale et McCauley, 1948; NIOSH, 1976
Non précisé (jusqu'à 32 ans)	Soixante-douze pour cent des 47 hommes de l'échantillon ont subi des changements ostéosclérotiques correspondant à la durée de leur emploi. Certaines cicatrices de brûlures dues au fluorure d'hydrogène. Par ailleurs, capacité physique normale. Lumbago, raideur et souffle court allégués par les sujets	Peperkorn et Kahling, 1944; NIOSH, 1976
Non précisé (de 10 à 17 ans)	Fluorose des vertèbres thoraciques inférieurs chez l'un des trois travailleurs	Largent, 1951; NIOSH, 1976
Non précisé (moyenne de 2,7 années)	Aucune différence lorsque la cage thoracique est passée aux rayons X. Irritation de la partie supérieure des voies respiratoires	Evans, 1940; NIOSH, 1976
• CHEZ LE CHIEN, LE LAPIN, LE COBAYE, LA SOURIS ET LE RAT		
7 et 25 mg/m^3 (6 heures par jour, 30 jours)	Les teneurs les plus élevées se sont révélées mortelles pour l'ensemble des rats et des souris, mais non pour les autres animaux. Légères pertes de poids chez les lapins. Les cobayes ont	Patty, 1981

7.3.2 **Goût.** – Caractéristiques du goût: aigre, plat.

7.4 Études de toxicité

7.4.1 Inhalation et contact de la vapeur

Exposition (teneur et durée)	Effet	Référence
	A. Exposition de brève durée	
• CHEZ L'HOMME		
120 ppm (1 mn)	Douleur cuisante de la peau, irritation de la conjonctive et des voies respiratoires, perception d'un goût acide et signalée comme l'exposition maximale tolérable par l'homme	Patty, 1981
110 ppm (1 mn)	Irritation des voies respiratoires	DPIMR, 1981
60 ppm	Irritation des muqueuses	Patty, 1981
50 ppm	TL min.	DPIMR, 1981
32 ppm	Légères douleurs aux yeux et aux muqueuses du nez. Retard à goûter le HF. Atmosphère désagréable	Patty, 1981
12 ppm	Sensation de brûlure des muqueuses nasales	PB 203465
10 ppm	Irritation des yeux et larmoiement	PB 203465
• CHEZ LE SINGE		
1774 ppm (1 h)	TL 50	AAR, 1981; DPIMR, 1981
• CHEZ LE LAPIN		
1800 ppm (15 mn)	Mort	Patty, 1981
1200 ppm (30 mn)	Mort	PB 203465
312 ppm (7 h)	TL 50	DPIMR, 1981
260 ppm (2 h)	TL 50	DPIMR, 1981
• CHEZ LE COBAYE		
4347 ppm (15 mn)	TL 50	DPIMR, 1981
4250 ppm (mn)	TL 50	Patty, 1981
1800 ppm (5 mn)	Mort	Patty, 1981
1200 ppm	TL 50	AAR, 1981
300 ppm (2 h)	Mort	Doc. TLV, 1980
40 ppm (41 h)	Survie des animaux	Doc. TLV, 1980
• CHEZ LE RAT		
4870 ppm (15 mn)	TL 50	Patty, 1981
2640 ppm (15 mn)	TL 50	Patty, 1981
2000 ppm (30 mn)	TL 50	Patty, 1981
1310 ppm	TL 50	AAR, 1981
1290 ppm (60 mn)	TL 50	Patty, 1981
1276 ppm (60 mn)	TL 50	DPIMR, 1981
300 ppm (15 mn)	Irritation des yeux et des muqueuses nasales	PB 203465
96 ppm (30 mn)	Irritation des yeux et des muqueuses nasales	PB 203465
4980 µg (4 h)	TL 50: effets sur la reproduction chez les femelles gestantes, entre 1 à 22 jours de gestation	RTECS, 1981
470 µg (0,6 ppm) (4 h)	TL 50: effets sur la reproduction chez les femelles gestantes, entre 1 et 22 jours de gestation	RTECS, 1981

	commencé à perdre du poids après la troisième semaine d'exposition. Les chiens ont subi des effets mineurs.	
25 mg/m^3 (6 heures par jour, 30 jours)	Hémorragie légère et oedème des poumons chez le chien, le lapin, le rat. Dégénération et nécrose corticale des reins chez le rat. Ulcération du scrotum chez le chien	Patty, 1981
7 mg/m^3 (6 heures par jour, 30 jours)	Hémorragies localisées du poumon de l'un des chiens (15 au total). Aucune modification chez le rat ou chez le lapin	Patty, 1981
• CHEZ LE LAPIN, LE COBAYE, LE PIGEON		
10 ppm (2 périodes de 3 heures par jour pendant 31 jours)	Dose mortelle pour 2 lapins, 7 cobayes et 1 pigeon. L'autopsie a révélé des poumons emphysémateux, des pneumo-bronchites et des lésions des muqueuses nasales. Les animaux ayant survécu avaient perdu 23 p. 100 de leur poids, étaient anémiés et moins résistants aux effets de l'innoculation du typhus	NIOSH, 1976
• CHEZ LE SINGE RHÉSUS, LE LAPIN ET LE COBAYE		
183 ppm (de 6 à 8 heures par jour, 309 heures au total)	Modification des cellules des poumons, du foie et des reins chez deux cobayes morts au bout de 8 mois d'exposition	Machle et Kitzmiller, 1935; NIOSH, 1976

7.4.2 Ingestion

Exposition de brève durée

• CHEZ LE COBAYE		
80 mg/kg	DL min.	AAR, 1981

7.4.3 Innoculation sous-cutanée

• CHEZ LE COBAYE		
100 mg/kg	DL min.	ARR, 1981

7.4.4 Innoculation intrapéritonéale

• CHEZ LE RAT		
25 mg/kg	DL min.	RTECS, 1981

7.4.5 Effets tératogènes et mutagènes

• ESPÈCE NON PRÉCISÉE		
Inhalation. 470 µg/m^3 ou 0,56 ppm (4 h)	Teneur toxique min.: effet sur la reproduction des femelles gravides de 1 à 22 jours	RTECS, 1981
Inhalation. 4980 µg/m^3 ou 5,98 ppm (4 h)	Teneur toxique min.: sur la reproduction des femelles gravides de 1 à 22 jours	RTECS, 1981
Inhalation, 1,3 ppm (6 semaines)	DNA endommagé (ruptures de bâtonnets, chaînes croisées)	RTECS, 1981
Inhalation 2,9 ppm	Perte de chromosome sexuel et non-disjonction	RTECS, 1981

7.5 Symptômes d'exposition

Les symptômes généraux d'exposition présents dans la plupart des sources de renseignements ne sont pas accompagnés de références précises. On a seulement indiqué les sources des symptômes d'une nature particulière ou inhabituelle.

7.5.1 Inhalation

1. Brûlures des muqueuses nasales menant éventuellement à des saignements de nez (NIOSH, 1976).
2. Brûlures dans la gorge, la partie supérieure des voies respiratoires, les yeux.
3. Spasmes musculaires.
4. Toux, crachements de sang, dyspnée.
5. Ulcères éventuels des voies respiratoires supérieures.
6. Inflammation et congestion des poumons (GE, 1977).
7. Bronchopneumonie et oedème pulmonaire.
8. Cyanose et jaunisse.
9. Hématurie et albuminurie.
10. Choc.
11. Convulsions et paresthésie.
12. Des lésions des reins ont été observées en cas de surexpositions de courte durée.
13. Une exposition prolongée à de faibles concentrations peut causer des anomalies du squelette et des changements au niveau osseux.
14. L'inhalation peut être mortelle.

7.5.2 Ingestion

1. Lorsqu'il est avalé, le produit peut causer des brûlures et des lésions dans la bouche, l'oesophage, l'estomac et le petit intestin.
2. Nausées, vomissements, douleurs abdominales.
3. Diarrhée.
4. Choc.
5. Cyanose, jaunisse.
6. Convulsions, paresthésie.
7. Hypocalcémie.
8. L'ingestion peut être mortelle.

7.5.3 Contacts cutanés

1. Fortes irritations de la peau et des muqueuses.
2. Douleurs immédiates et fortes (à des teneurs en HF de 50 p. 100 ou plus).
3. Si la solution n'est pas enlevée immédiatement, les ions fluorures peuvent pénétrer dans la peau et amener par la suite une apparition d'ulcères douloureux qui ne guérissent que lentement (Patty, 1981).
4. Les ions fluorures pénètrent immédiatement dans la peau pour atteindre les tissus en profondeur et causer une nécrose par liquéfaction des tissus mous ainsi qu'une décalcification et une corrosion des os (NIOSH, 1976). La région touchée est blanche et d'aspect nécrotique. Pour les teneurs de 20 à 50 p. 100, les symptômes peuvent ne se produire qu'au bout de 8 mois d'exposition (Allied MM, 1979).
5. Les effets de brûlure peuvent être à retardement, surtout si les solutions sont diluées (MacKinnon, 1983; Trevino, 1982).

6. Les tissus sous-cutanés peuvent être affectés et se vider de leur sang.
7. Possibilité de pénétration dans l'organisme à travers la peau et d'empoisonnement systémique.
8. Hypocalcémie (MacKinnon, 1983).
9. Les brûlures dont la surface dépasse de 30 à 100 cm^2 sont très sérieuses et peuvent entraîner la mort (Trevino, 1982; MacKinnon, 1983).
10. Toutes les expositions par contact sont sérieuses, le traitement est exigé immédiatement (MacKinnon, 1983; Trevino, 1982).

7.5.4 Contacts avec les yeux

1. Conjonctivites.
2. Brûlures et cicatrices de la cornée.
3. Opacification cornéenne.
4. Défauts optiques permanents.
5. Cécité.

7.6 Toxicité pour l'homme des produits dégradés ou brûlés

De l'hydrogène inflammable et explosif peut être formé au contact de certains métaux et de l'humidité (AAR, 1981).

7.6.1 **Hydrogène**. – L'hydrogène est un gaz incolore, insipide et inodore qui forme avec l'air, des mélanges explosifs. Lorsqu'il est allumé, le mélange air-gaz brûle facilement ou explose si les teneurs sont assez élevées.

8 COMPATIBILITÉ CHIMIQUE

8.1 Compatibilité entre le fluorure d'hydrogène et divers produits chimiques

Phénomène physique ou corps chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
En général														Sax, 1979
Chaleur						•								Sax, 1979
Eau						•							Produit des vapeurs toxiques et corrosives	
Produits chimiques														
Acétate de vinyle								•					Avec l'acide HF à 48,7 %	NFPA, 1978
Acide bismuthique									•				Avec l'acide fluorhydrique à 40 %	Bretherick, 1979
Acide chlorosulfonique								•					Avec l'acide fluorhydrique à 48,7 %	NFPA, 1978
Acide nitrique et lactique			•										Explosion d'un récipient contenant les deux substances plus l'acide fluorhydrique	NFPA, 1978
Acide silicique							•						Forme du tétrafluorure de silicium et de l'acide fluosilicique	DuPont, 1982
Acide sulfurique	•							•					Avec l'acide fluorhydrique à 48,7 %	NFPA, 1978
Anhydrique acétique								•					Avec l'acide fluorhydrique à 48,7 %	NFPA, 1978
Béton							•						Peut former du tétrafluorure de silicium	Allied PSDS, 1979
Éthylène diamine								•					Avec l'acide fluorhydrique dilué	NFPA, 1978
Éthylèneimine								•					Avec l'acide fluorhydrique à 48,7 %	NFPA, 1978
Fluor		•									•		Réaction violente avec production de flammes lors du passage dans l'acide fluorhydrique à 50 %	NFPA, 1978

Phénomène physique ou corps chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
Fluorure de cyanogène		•		•									Produit une polymérisation violente	Bretherick, 1979
Hydroxyde d'ammonium								•					Avec l'acide fluorhydrique à 48,7 %	Bretherick, 1979
Hydroxyde de sodium	•							•					Avec l'acide fluorhydrique à 48,7 %	NFPA, 1978
Oléum								•					Avec l'acide fluorhydrique à 48,7 %	NFPA, 1978
Oxyde de calcium										•			Avec l'acide fluorhydrique	NFPA, 1978
Oxyde de mercure (II)								•		•			La réaction peut entraîner une explosion	Bretherick, 1979
Oxyde de propylène								•					Avec l'acide fluorhydrique à 48,7 %	NFPA, 1978
Pentoxyde de phosphore									•				Au-dessous de 20 °C	Bretherick, 1979
Permanganate de potassium										•			Avec l'acide fluorhydrique de 60 à 90 %	Bretherick, 1979
N-Phénylazopipéridine									•				En grande quantité	Bretherick, 1979
Propiolactone (Béta)								•					Avec l'acide fluorhydrique à 48,7 %	NFPA, 1978
Silice							•						Forme du tétrafluorure de silicium et de l'acide fluosilicique	DuPont, 1982
Sodium									•				Avec l'acide fluorhydrique	Bretherick, 1979
Tétrafluorosilicate de potassium										•			Avec le fluorure d'hydrogène liquéfié	Bretherick, 1979
Trioxyde d'arsenic		•											Devient incandescent avec le fluorure d'hydrogène	Bretherick, 1979
2-Aminoéthanol								•					Avec l'acide fluorhydrique à 48,7 %	NFPA, 1978
Groupes de produits chimiques														
Alcalis	•												Réagit exothermiquement	Allied PSDS, 1981

Phénomène physique ou corps chimiques	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Sources
Carbonates						•							Forme du dioxyde de carbone	Allied PSDS, 1981
Cyanures							•						Forme du cyanure d'hydrogène	Allied PSDS, 1981
Métaux				•									Forme de l'hydrogène avec plusieurs métaux	Allied PSDS, 1981
Sulfures							•						Forme du sulfure d'hydrogène	Allied PSDS, 1981

9 MESURES D'INTERVENTION ET DE SÉCURITÉ

9.1 Mesures recommandées

Les mesures décrites dans la présente section, qui semblent s'appliquer à la plupart des situations, sont reprises d'ouvrages déjà publiés. Pour éviter d'en fausser le sens, la formulation originale a été conservée, malgré certaines contradictions entre les différentes sources. Les mesures décrites ne doivent pas être considérées comme recommandées par Environnement Canada.

9.1.1 Risques d'incendie. – Le fluorure d'hydrogène n'est pas inflammable et n'est pas combustible (NFPA, 1978; GE, 1977; GE, 1978). Sous l'effet de la chaleur, des vapeurs toxiques et irritantes sont libérées (Air Products MSDS, 1978). Dans sa forme concentrée, l'acide fluorhydrique peut attaquer les métaux et donner naissance à du gaz hydrogène explosif. Le fluorure d'hydrogène anhydre est hygroscopique et forme une solution acide accompagnée d'un grand dégagement de chaleur. La pollution par l'eau des conteneurs sous pression ou des tuyauteries contenant du fluorure d'hydrogène peut entraîner la formation d'hydrogène lorsque le métal est attaqué par l'acide (GE, 1977; GE, 1978).

9.1.2 Agents d'extinction. – Refroidir à l'aide d'un jet d'eau les feux impliquant de l'acide fluorhydrique ou du fluorure d'hydrogène (NFPA, 1978). Refroidir les contenants touchés par le feu au moyen d'un jet d'eau pour les empêcher d'exploser (ERG, 1980). Éviter d'arroser directement la source des fuites, la corrosion résultante pouvant élargir le diamètre du trou (Allied PSDS, 1981). D'importants volumes d'eau doivent être utilisés pour diluer la solution (DuPont, 1982). L'eau doit être récupérée pour être traitée par la suite.

Petit feu: poudre sèche ou CO_2.

Grand feu: eau pulvérisée ou mousse.

Éloigner les récipients de la zone d'incendie si cela peut se faire sans risque. Se tenir à l'écart des extrémités des réservoirs (ERG, 1980). Ne pas pénétrer à l'intérieur des réservoirs (EAG, 1978).

9.1.3 Évacuation. – Les chiffres suivants correspondent aux distances d'évacuation qui sont données dans les publications spécialisées. Des paramètres importants tels que quantité déversée, teneur à partir de laquelle l'évacuation est conseillée et conditions propres à l'environnement ne seront pas obligatoirement définis. Il est conseillé au lecteur d'évaluer le bien fondé de ces chiffres en les confrontant aux résultats des méthodes de calcul des zones de risque que l'on trouve au paragraphe 5.3 du présent ouvrage.

Lorsque les vents dominants soufflent à des vitesses de 10 à 19 km/h (EAG, 1978), il est recommandé d'évacuer les personnes de la zone de déversement présentant un risque immédiat aux distances suivantes:

Masse déversée	Rayon de la zone de danger immédiat	Superficie à évacuer, du côté sous le vent pour une sécurité maximale	
20 m^2	145 m (192 pas)	1,6 km de longueur sur	0,8 km de largeur
35 m^2	205 m (270 pas)	2,4 km –	1,6 km –
55 m^2	255 m (336 pas)	2,4 km –	1,6 km –
75 m^2	295 m (390 pas)	3,2 km –	1,6 km –

Attention: Bien que le fluorure d'hydrogène ne forme pas de mélange explosif avec l'air, le récipient dans lequel il est expédié peut exploser sous l'effet de la chaleur dégagée par un incendie. Pour plus de sécurité, procéder à une évacuation dans un rayon de 600 m.

9.1.4 Mesures à prendre en cas de déversement accidentel

9.1.4.1 Généralités. – Arrêter ou réduire l'écoulement du produit si cela ne présente aucun danger. Éliminer toutes les sources d'inflammation. Éviter tout contact avec la peau et éviter d'inhaler le produit (GE, 1977; GE, 1978).

S'il n'est pas possible de colmater la fuite d'un récipient, ce dernier devra être transporté à l'extérieur et placé dans un endroit isolé et bien aéré. Le récipient devra être disposé de façon à ce que le trou se trouve en haut; ainsi les vapeurs seront libérées. Laisser la vapeur ou le gaz s'évaporer et non le liquide. Le gaz devra être aspiré par un système d'absorption (contenant éventuellement de la soude ou de la chaux éteinte) (MCA, 1970; Allied PSDS, 1981).

On a essayé et recommandé les matières absorbantes suivantes pour éliminer les vapeurs ou circonscrire les déversements de fluorure d'hydrogène anhydre (Braley, 1980): polyacrylamide et méthacrylate de polymétyle. Une solution de fluorure d'hydrogène à 40 p. 100 peut aussi être circonscrite à l'aide d'un mélange de polyacrylamide anionique et non ionique.

Les laveurs de type classique (appareils à pulvérisation, venturis, cyclones par voie humide, impacteurs et appareils à couche poreuse) donnent un service adéquat avec le fluorure d'hydrogène. Le liquide de sortie du laveur est neutralisé, généralement à la chaux, afin d'enlever les ions fluorure sous forme de fluorure de calcium insoluble (Allied PSDS, 1981).

9.1.4.2 Déversements sur le sol. – Les produits déversés sur une surface poreuse peuvent être nettoyés et neutralisés immédiatement au moyen de matières alcalines (GE, 1977; GE, 1978).

Circonscrire la nappe si possible et recouvrir de chaux de façon à constituer une boue neutre. Cette boue peut ensuite être ramassée à la pelle et déposée dans des récipients en acier pour être mise au rebut (GE, 1977; GE, 1978).

Le bicarbonate de sodium ainsi qu'un mélange à part égale de cendre de soude et de chaux éteinte (Air Products MSDS, 1978) ou encore des carbonates de calcium (CG-D-38-76) constituent eux aussi des agents de neutralisation recommandés. On pourra aussi utiliser un laitier en poudre de ferro-chrome (Wilder, 1972). Les petites masses déversées peuvent être diluées à l'eau ou à l'eau pulvérisée et neutralisées au bicarbonate de sodium ou avec un mélange de carbonate de sodium anhydre et de chaux sodée (DuPont, 1982). Au moment de la neutralisation, il faut assurer une ventilation suffisante afin de réduire la chaleur produite par la neutralisation.

9.1.4.3 Déversements sur l'eau. – Circonscrire si possible la nappe et neutraliser avec de la chaux (OHM-TADS, 1981). Autres agents de neutralisation recommandés: bicarbonate de sodium,

mélange à part égale de carbonate de sodium anhydre et de chaux sodée (Air Products MSDS, 1978) et carbonate de calcium (CG-D-38-76).

Les solvants suivants peuvent aussi être envisagés: charbon actif, sciure de bois sulfonée et carbonisée, Dowex 1 et 1 x 10, Amberlite IRA 402 ou IRA 93 et résine transformée DeSal (CG-D-38-76).

9.1.5 Nettoyage et traitement

9.1.5.1 Déversements sur le sol. – Les déchets liquides peuvent être neutralisés dans une tranchée avec de la chaux, loin des bâtiments et des gens. La tranchée sera ensuite remblayée, puis recouverte de bois ou de feuilles métalliques en attendant que la terre se tasse (GE, 1977; GE, 1978). La boue neutralisée ainsi que le sol pollué pourront ensuite être enlevés et déposés dans une décharge présentant toutes les garanties de sécurité.

9.1.5.2 Généralités. – Pour traiter l'eau contaminée, on recommande (EPA-600/2-77-227) de séparer par gravité les solides formés par précipitation (pH 11,0) à l'aide d'un mélange (50/50) de carbonate de sodium anhydre et de chaux sodée. Les produits solides sont ensuite enlevés une fois la réaction terminée (généralement dans les 24 heures). L'eau traitée passe dans un filtre à double action puis est neutralisée par de l'acide chlorhydrique. Tous les effluents provenant du filtre sont renvoyés dans le séparateur par gravité.

9.1.6 Élimination. – Il ne faut jamais décharger directement les déchets d'acide fluorhydrique dans des égouts ou des eaux superficielles. Traiter les petites quantités en ajoutant un excès d'eau et en neutralisant avec de la boue carbonatée, de la chaux, du carbonate de sodium anhydre ou un autre alcali. Ajouter l'alkali à l'acide peu à peu à cause des vapeurs de HF et de la chaleur intense qui peuvent se dégager (Allied PSDS, 1981). Il est plus pratique de disposer des grandes quantités en les neutralisant à la chaux qui fait précipiter l'ion fluorure qui apparaît sous forme de fluorure de calcium insoluble. D'autres agents de neutralisation comme le liquide de rejet alcalin, la dolomite, l'ammoniac, la potasse caustique, la soude caustique et le carbonate de sodium anhydre ont été utilisés avec succès. Normalement, le calcaire n'est pas utilisé parce que le fluorure de calcium précipité enduit le calcaire, réduisant ainsi son efficacité (Allied PSDS, 1981).

9.1.7 Mesures de protection. – Avant de pénétrer dans une zone où ni la substance déversée, ni ses propriétés ne sont connues, il est essentiel de se munir d'un appareil de respiration autonome et de revêtir une combinaison totalement étanche aux produits chimiques. Il faut noter que pour la plupart des déversements de fluorure d'hydrogène ou d'acide, cette recommandation doit être observée. Les recommandations moins «sévères» valent pour les petits déversements de solutions diluées ou lorsque les teneurs sont connues et demeureront les mêmes tout au long de l'opération.

Si la substance déversée est du fluorure d'hydrogène (sous forme anhydre ou aqueuse), il faut observer les mesures suivantes: a) fournir au personnel d'intervention et l'obliger à porter des vêtements et des gants imperméables, des masques de protection (minimum 8 pouces) et tout autre vêtement de protection nécessaire pour empêcher toute possibilité de contact répété ou prolongé de la peau avec le fluorure d'hydrogène. Il est aussi recommandé de porter des lunettes de sécurité anti-éclaboussures pour la protection des yeux (NIOSH/OSHA, 1978); b) les gants doivent couvrir le poignet et une partie de l'avant-bras. On recommande l'usage du néoprène ou du PVC (GE, 1977; GE, 1978). Il convient de porter des chaussures munies de semelle en

PVC, en néoprène ou en un autre produit synthétique. On pourra utiliser des casquettes ou des chapeaux à larges bords souples pour se protéger contre les fuites ou les éclaboussures de liquide (MCA, 1970); c) il est recommandé de porter les vêtements de protection contre l'acide fluorhydrique faits dans les matériaux suivants (EE-20): cloropel, néoprène et PVC (excellente résistance) et butyle (bonne résistance); d) les vêtements non imperméables qui sont éclaboussés de fluorure d'hydrogène doivent être retirés immédiatement et ne peuvent être remis tant que le fluorure d'hydrogène n'a pas été enlevé des vêtements (NIOSH/OSHA, 1978); e) des douches oculaires automatiques et des douches d'urgence doivent être immédiatement disponibles dans les lieux où l'on utilise l'acide et où il y a risque de déversement (GE, 1977; GE, 1978).

Voici une liste des éléments de protection minimale des voies respiratoires recommandés au personnel travaillant en présence de fluorure d'hydrogène (NIOSH/OSHA, 1978).

Situation	Protection minimale des voies respiratoires* pour des teneurs de plus de 3 ppm
Teneur maximale en gaz ou en vapeur de 20 ppm ou moins	Appareil à adduction d'air à cartouche chimique avec masque recouvrant la totalité du visage et cartouche(s) offrant une protection contre le fluorure d'hydrogène. Masque à gaz avec cartouche filtrante montée sous le menton ou sur l'arrière offrant une protection contre le fluorure d'hydrogène. Tout appareil à adduction d'air couvrant tout le visage et comportant un masque complet, un casque ou une cagoule. Tout appareil à adduction d'air autonome avec masque complet.
Teneur supérieure à 20 ppm** ou entrée et sortie de lieux où les teneurs sont inconnues	Appareil à adduction d'air autonome avec masque complet à pulmo-commande ou à pression super-atmosphérique. Appareil à adduction d'air comprenant un appareil à adduction d'air de type C avec masque complet à pulmo-commande, à pression-atmosphérique ou à débit constant, et appareil à adduction d'air auxiliaire autonome à pulmo-commande ou à pression super-atmosphérique.
Lutte contre l'incendie	Appareil à adduction d'air autonome avec masque complet à pulmo-commande ou à pression super-atmosphérique.
Évacuation rapide des lieux	Tout masque à gaz offrant une protection contre le fluorure d'hydrogène. Tout appareil à adduction d'air autonome permettant de fuir un endroit dangereux.

* Seuls les appareils approuvés le NIOSH ou la MSHA doivent être utilisés.

** Il pourra être nécessaire de porter des combinaisons à adduction d'air afin d'éviter que la peau n'entre en contact avec le produit, tout en permettant au sujet de respirer sans craindre la présence de fluorure d'hydrogène dans l'air; cet équipement devra toutefois être choisi, utilisé et entretenu sous la surveillance immédiate d'un personnel spécialement formé. Lorsqu'on utilisera des combinaisons à adduction d'air à des teneurs supérieures à 20 ppm, on utilisera en même temps un appareil respiratoire autonome auxiliaire fonctionnant à la pression super-atmosphérique.

9.1.8 Précautions spéciales. – Protéger les bouteilles contre tout dommage physique. Les remiser dans un endroit frais, sec, bien aéré et construit de matériaux non combustibles. Protéger les bouteilles contre toute hausse de température excessive en les entreposant loin d'une source de chaleur. Aucune partie des bouteilles ne devra être soumise à une température supérieure à 52 °C. Entreposer les bouteilles en position debout et bien les arrimer. Séparer les bouteilles pleines des bouteilles vides (Air Products MSDS, 1978).

Les bouteilles peuvent être entreposées à l'extérieur, mais doivent être protégées contre les rigueurs du climat et contre les rayons du soleil. Éviter que les bouteilles soient en contact avec le sol, ce qui pourrait les faire rouiller. Ne pas les entreposer près de produits solvants, de

l'essence ou de sources d'allumage. Éviter les endroits où la circulation est intense (Air Products MSDS, 1978). Garder l'acide fluorhydrique à 50 p. 100 dans des récipients fermés hermétiquement et recouverts de polyéthylène, de téflon, de plomb, de cire ou de paraffine. L'acide fluorhydrique à des teneurs supérieures à 60 p. 100 peut être transporté dans des récipients et des conduites en acier passivé de conception spéciale. Sous sa forme concentrée, l'acide fluorhydrique agira sur le laiton, le plomb, l'acier inoxydable, l'aluminium, la fonte et d'autres métaux, la réaction chimique donnant lieu à la formation d'hydrogène explosif (GE, 1977; GE, 1978). L'acier utilisé pour le stockage ou le transport du fluorure d'hydrogène ou d'acides concentrés doit être fréquemment vérifié afin de déceler toute trace d'écaillement ou de corrosion (DuPont, 1982). Les réservoirs corrodés seront munis de drains afin d'éviter les fuites accidentelles. Des drains de dérivation peuvent être utilisés pour diriger les fuites loin du réservoir en un lieu où le produit peut être dilué et éliminé, ces drains permettent néanmoins l'accès au réservoir en cas d'urgence (DuPont, 1982).

9.2 Équipements, matériel et techniques spécialisés d'intervention

La liste qui suit est extraite d'étude antérieure et n'est pas exhaustive (Dillon, 1982). On trouvera, dans l'étude citée, plus de détails sur les spécifications, la performance et la disponibilité de ces équipements, produits ou techniques.

Colmatage des fuites	Plug N' Dike
Entreposage temporaire	Système de sacs portatifs

DuPont a mis au point une technique de colmatage des fuites pour les wagons-citernes; cette technique s'apparente à celle de l'Institut du Chlore appelé le «C Kit», mais elle est adaptée aux fluorures (CCPA, 1982).

10 CAS DE DÉVERSEMENTS ACCIDENTELS

Les informations relatives aux déversements accidentels antérieurs contenues dans la présente section aideront le lecteur à comprendre les mesures d'intervention prises en cas de déversements accidentels. Seuls les cas qui présentent un intérêt pour le lecteur sont inclus dans la présente section; en conséquence, le nombre de cas décrits ne traduit ni l'ampleur du problème ni la fréquence des déversements.

Toute nouvelle information pertinente sera incluse dans les révisions ultérieures du manuel, au fur et à mesure des progrès réalisés dans le domaine des techniques d'intervention.

10.1 Fuite dans un camion-citerne

(Communication personnelle de CDEP, 1982; HMIR, 1980)

Une fuite s'est produite à l'avant du réservoir d'un camion, contenant environ 18 000 litres d'acide fluorhydrique, en cours de transport. Le conducteur du camion a senti l'odeur de la vapeur d'acide fluorhydrique et a conduit le camion jusqu'au poste de contrôle le plus proche pour qu'il soit inspecté. Le camion a été stationné dans une côte afin de réduire la quantité d'acide fluorhydrique s'échappant de l'avant du réservoir.

L'équipe d'intervention dépêchée sur place avait des doutes quant au contenu du camion et pensait qu'il s'agissait peut-être d'acide fluorhydrique à 40 p. 100, même si les documents d'expédition parlaient d'une cargaison d'acide fluorhydrique à 70 p. 100. La forte teneur en eau de la cargaison dans le premier cas augmenterait les capacités de réaction de la solution d'acide fluorhydrique sur le métal. À titre de précaution et au cas où l'acide corroderait les parois du réservoir, l'équipe d'intervention a construit des murs de terre de 1,2 m de hauteur tout autour du camion-citerne et a déversé environ 150 kg de chaux et de bicarbonate de soude sur le sol afin de neutraliser le produit déversé.

L'acide fluorhydrique, qui jusqu'alors fuyait par un trou de la grosseur d'une tête d'épingle, s'est mis à attaquer le cordon de soudure. L'équipe d'intervention, munie d'appareils respiratoires Scott et de vêtements de protection Acid-King, a appliqué un tampon de néoprène sur le trou qui allait en s'élargissant, fixant le tampon avec des courroies en acier inoxydable. Au total, 180 litres d'acide fluorhydrique se sont déversés avant que le tampon ne produise son effet. La majeure partie s'est évaporée alors qu'une dizaine de litres s'étant déversés sur le sol ont été neutralisés par la chaux dont on disposait. Le produit ainsi neutralisé a été ramassé à la pelle et incorporé au sol d'un parc de stationnement voisin.

Un peu plus tard, ce même jour, l'acide fluorhydrique restant a été pompé dans un autre camion-citerne.

Les auteurs estiment que cette expérience illustre bien la nécessité et les avantages d'un confinement et d'un calmotage rapide des fuites ainsi que l'utilité de la méthode de fixation à l'aide de courroies en acier d'un tampon en néoprène pour boucher le trou d'où provient la fuite.

11 IDENTIFICATION ET DOSAGE DES POLLUANTS

Les méthodes d'analyse utilisées pour le dosage des polluants chimiques d'intérêt prioritaire sont expliquées dans les lignes qui suivent.

Les méthodes décrites et les références signalées ont été choisies en fonction d'analyses d'échantillons d'air, d'eau et de sol devant être faites dans un laboratoire de chimie doté d'un équipement standard éloigné du lieu d'où proviennent les prélèvements. Les auteurs ont consulté les sources habituelles exposant les méthodes normalisées ou recommandées, et décrit sommairement celles qui s'appliquent à chaque produit chimique. Parmi ces sources, on compte des publications du National Institute for Occupational Safety and Health des États-Unis (NIOSH), de l'Environmental Protection Agency des États-Unis (EPA), de l'American Water Works Association, de l'American Society for Testing and Materials et de l'American National Standards Institute.

Lorsque les méthodes normalisées ou recommandées ont été jugées fiables et suffisamment spécifiques pour l'analyse des échantillons provenant des matières déversées et du milieu touché et lorsqu'elles ne nécessitaient pas un équipement de laboratoire hautement spécialisé, nous n'avons pas cherché plus loin. Enfin, lorsque nous avons découvert des tests simples et fiables, couramment utilisés dans l'industrie, nous les avons signalés.

11.1 Dosage du polluant présent dans l'air (analyses quantitatives)

11.1.1 Électrode pour ion spécifique (NIOSH, 1977). – La méthode décrite ci-dessous peut être utilisée pour doser le fluorure d'hydrogène dans l'air à des teneurs comprises entre 1,33 et 4,50 mg/m^3 (0,002 à 0,005 ppm). La teneur est déterminée par l'utilisation d'une électrode spécifique aux ions fluorure combinée à une électrode de référence.

Un volume d'air connu, de préférence 45 litres, est aspiré dans un barboteur miniature contenant 10 ml d'hydroxyde de sodium à 0,1 *N*, agissant comme solution absorbante pour le fluorure d'hydrogène. La solution est alors diluée jusqu'à 25 ml à l'aide d'hydroxyde de sodium à 0,1 *N*. On ajoute alors 25 ml d'une solution tampon à force ionique totale préparée en ajoutant 57 ml d'acide acétique glacial, 58 g de chlorure de sodium et 0,30 g de citrate de sodium à environ 500 ml d'eau bidistillée, puis on agite bien. Cette solution tampon est alors ajustée à un pH se situant entre 5 et 5,5 par l'addition lente d'hydroxyde de sodium à 5 *N*, puis elle est refroidie à la température ambiante et diluée dans un litre d'eau bidistillée. Une partie aliquote de 25 ml de cette solution tampon est ajoutée à l'échantillon. L'électrode pour ions spécifiques pour le dosage du fluorure est plongée dans la solution servant d'échantillon qui est simultanément agitée et la quantité de fluorure d'hydrogène gazeux est déterminée en comparant la lecture directe en millivolt avec une courbe d'étalonnage. Cette méthode est rapide et l'efficacité d'absorption du barboteur est de 99 p. 100.

11.2 Identification du polluant présent dans l'air (analyse qualitative)

Un volume d'air connu est aspiré dans un barboteur miniature comme indiqué à la section 11.1.1. L'échantillon est acidifié, puis on lui ajoute une solution colorante d'alizarine-chlorure de zirconyle. Cette solution colorante est préparée en dissolvant 0,5 g d'alizarine dans 200 ml d'éthanol à 95 p. 100 en chauffant pour améliorer la dissolution. Ensuite, on dissout 1,5 g de chlorure de zirconyle dans 100 ml d'eau distillée et le tout est ajouté à la solution

d'alizarine. La solution résultante est alors agitée et diluée avec de l'eau distillée jusqu'à obtention de un litre. Un changement de couleur, du rouge au jaune, indique la présence d'ions fluorure (Welcher, 1955).

11.3 Dosage du polluant présent dans l'eau (analyses quantitatives)

11.3.1 Électrode pour ions spécifiques (ASTM, 1979). – Des concentrations d'ions fluorure dans l'eau entre 0,1 et 1000 mg/l (ppm) peuvent être décelées à l'aide d'une électrode pour ions spécifiques. La concentration d'ions fluorure présente dans l'eau est déterminée à l'aide d'une électrode pour ions fluorure et d'une électrode de référence.

Un échantillon représentatif d'environ 50 ml est ajouté à une partie aliquote de 50 ml d'une solution tampon à force ionique totale, à un pH se situant entre 5 et 5,5, et versée dans un vase à précipiter. La solution est préparée comme indiqué à la section 11.1.1. L'électrode pour ions spécifiques pour le dosage du fluorure est alors placée dans l'échantillon agité par effet magnétique et la détermination de la présence d'ions fluorure est effectuée en comparant la lecture directe obtenue en millivolt avec une courbe d'étalonnage. Cette méthode s'applique à divers types d'eau.

11.3.2 Photométrie (ASTM, 1979). – Des concentrations d'ions fluorure dans l'eau entre 0,00 et 1,40 mg/l (ppm) peuvent être déterminées à l'aide de cette méthode. L'ion fluorure est distillé sous forme d'acide fluorosilicique et la concentration est déterminée par photométrie en mesurant l'effet de décoloration de l'acide sur le colorant SPADNS.

On effectue d'abord la distillation de 400 ml d'eau auxquels on ajoute lentement, en agitant simultanément, 200 ml d'acide sulfurique concentré. On ajoute quelques pierres à ébullition à la solution et cette dernière est chauffée à 180 °C. Le distillat produit est rejeté et la solution résultante est refroidie à une température inférieure à 100 °C. On ajoute alors lentement, dans le ballon à distiller, 300 ml d'échantillon et la solution est chauffée à 180 °C. On recueille le distillat dans une bouteille graduée jusqu'à obtention d'un volume de 300 ml. Si la présence de chlore libre est soupçonnée, on doit l'éliminer en ajoutant une solution d'arsénite de sodium, laquelle est préparée en dissolvant 2,0 g d'arsénite de sodium dans 1 l d'eau distillée.

À une partie aliquote de 50 ml de distillat, on ajoute 10 ml d'une solution d'acide SPADNS-zirconyle. Cette dernière est préparée en mélangeant deux volumes égaux d'une solution d'acide zirconyle et d'une solution de SPADNS.

La solution SPADNS (disulfonate de 2-(parasulfophénylazo)-1, 8-dihydroxy-3, 6-naphtalène de sodium) est préparée en dissolvant 0,958 g du réactif dans 500 ml d'eau distillée.

La solution d'acide de zirconyle est préparée en dissolvant 0,133 g de chlorure de zirconyle octohydraté dans approximativement 25 ml d'eau auxquels on ajoute 350 ml d'acide chlorhydrique concentré. La solution est ensuite diluée avec de l'eau distillée jusqu'à obtention de 500 ml.

À l'aide d'un spectrophotomètre approprié, l'absorbance est alors déterminé à une longueur d'onde de 570 nm. L'absorbance peut aussi être déterminée à l'aide d'un photomètre à filtre muni d'un filtre vert-jaune ayant une transmittance maximale entre 550 et 580 nm et possédant un parcours lumineux d'au moins 1 cm.

11.4 Dosage du polluant présent dans l'eau (analyse qualitative)

Un échantillon d'eau représentatif est recueilli, acidifié et ajouté à une solution colorante alizarine-chlorure de zirconyle. Cette dernière est préparée comme indiqué à la section 11.2. Un changement de couleur, du rouge au jaune, indique la présence de l'ion fluorure (Welcher, 1955).

12 RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE*

12.1 Références

AAR 1981: BDM Corporation, The AAR Hazardous Materials Data Base, Prepared for the Association of American Railroads, Parts I and II, McLean, Virginia. (May, 1981).

Air Products MSDS 1978: Air Products and Chemicals, Inc., Specialty Gas Material Safety Data Sheet - Hydrogen Fluoride, Allentown, Pennsylvania. (March, 1978).

Allied 1978: Allied Chemical Corporation, Hydrofluoric Acid, Morristown, New Jersey. (1978).

Allied MM 1979: Allied Chemical, Medical Manual - Hydrofluoric Acid, Morristown, New Jersey. (1979).

Allied PSDS 1981: Allied Chemical Corporation, Product Safety Data Sheets Hydrofluoric Acid, Anhydrous, Hydrofluoric Acid, Aqueous, Hydrofluoric Acid, Morristown, New Jersey. (1981).

ASS: Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario. Not dated.

ASTM 1979: American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31: Water, ASTM, Philadelphia, Pennsylvania, D1179 Method Band A. (1979).

Bailar 1973: Bailar, J.C., Emeléus, N.J., Nyholm, R., Trotman-Dickenson, A.F. (ed.), Comprehensive Inorganic Chemistry, Vol. 2, Pergamon Press, Oxford, United Kingdom. (1973).

B.C. 1980: British Columbia Workers Compensation Board, Industrial Health and Safety Regulations, Vancouver, British Columbia. (July, 1980).

Beattie 1978: Beattie, J.R., Abby, F., Haddock, S.R., Kaiser, G.D., "The Toxic and Airborne Disposal Characteristics of Hydrogen Fluoride", Canvey, an Investigation of Potential Hazards from Operations in the Canvey Island/Thurrock Area, Health and Safety Executive, London, England. (1978).

Braley 1980: Braley, G.K., "Several Remedies for the Treatment of Spillages of Liquid Hazardous Chemicals", Proceedings of the 1980 National Conference on Control of Hazardous Material Spills. (May, 1980).

Bretherick 1979: Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, Second Edition, Butterworths, London, England. (1979).

CBG 1980: Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Mills, Ontario. (December, 1980).

CCPA 1981: The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario. (October, 1981).

* Listes reproduites de l'édition anglaise

CCPA 1982: Canadian Chemical Producers Association, Private Communication, Ottawa, Ontario. (1982).

CG-D-38-76: Bauer, W.H., Borton, D.N., et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, D.C., CG-D-38-76. (August, 1975).

Chem. Eng. 1975: Yaws, C.L., "Physical and Thermodynamic Properties - Hydrogen Halides", Chemical Engineering, Vol. 81, No. 23, p. 113. (28 October 1974).

Chemtech PDS: Chemtech Industries, Hydrofluoric Acid Product Data Sheet, St. Louis, Missouri. Not dated.

CHRIS 1974: U.S. Department of Transportation, CHRIS Hazard Assessment Handbook, U.S. Coast Guard, Washington, D.C., CG-446-3. (April, 1974).

Corpus 1982: Corpus Information Services Ltd., "Hydrogen Fluoride", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario. (April, 1982).

CRC 1980: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, Ohio. (1980).

DCRG 1978: Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, Michigan. (1978).

Dillon 1982: M.M. Dillon, Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills, Environment Canada, Ottawa, Ontario. (1982).

Doc. TLV 1980: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, Fourth Edition, Cincinnati, Ohio. (1980).

DPIMR 1981: "Hydrofluoric Acid", Dangerous Properties of Industrial Materials Report, Vol. 1, No. 6, pp. 64-66. (July/August, 1981).

DPPED 1967: DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario. (1967).

du Pont 1982: Hydrofluoric Acid, Anhydrous - Technical, Properties, Uses, Storage and Handling, E.I. du Pont de Nemours & Co., Wilmington, Delaware. (1982).

du Pont DS 1982: Data Sheet - Hydrofluoric Acid Anhydrous - Technical, E.I. du Pont de Nemours & Co., Wilmington, Delaware. (1982).

DWS 1973: Environmental Protection Agency, Drinking Water Standards (Draft), U.S. Environmental Protection Agency, Advisory Committee, Washington, D.C. (20 September 1973).

EAG 1978: U.S. Department of Transportation, Emergency Action Guide for Selected Hazardous Materials, U.S. D.O.T., Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, D.C. (1978).

Eco/Log 1981: "Spent Pickling Acids Recovered by Evaporation", Eco/Log, Vol. 9, No. 44, p. 3. (13 November 1981).

Eco/Log 1981(a): "News Summary", Eco/Log Week, Vol. 9, No. 44, p. 4. (13 November 1981).

EE-20: Buchan, Lawton, Parent Ltd., A Survey of Self-Contained Breathing Apparatus and Totally-Encapsulated Chemical Protection Suits, Unedited version. Not dated.

EPA 440/4-75-009: Environmental Protection Agency, Supplement to Development Document: Hazardous Substances Regulations, Section 311 Federal Water Pollution Control Act, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Standards, Washington, D.C., EPA 440/9-75-009. (November, 1975).

EPA 600/2-77-227: Huibregtse, K.R., et al., Manual for the Control of Hazardous Material Spills - Volume One - Spill Assessment and Water Treatment Techniques, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio, EPA 660/2-77-227. (November, 1977).

ERG 1980: U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, U.S. Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, D.C. (1980).

GE 1977: General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, New York. (September/October, 1977).

GE 1978: General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, New York. (August, 1978).

GF: GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, California. Not dated.

GPP: Uniroyal, Guide to Polymer Properties, Uniroyal Inc., Mishawaka, Indiana. Not dated.

Guidelines/Canadian/Water 1978: Federal-Provincial Working Group on Drinking Water of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health, Guidelines for Canadian Drinking Water Quality 1978, Ministry of National Health and Welfare, Ottawa, Canada. (1978).

Hemens 1972: Hemens, J., Warwick, R.J., "The Effects of Fluorides on Estuarine Organisms", Water Research, Vol. 6, pp. 1301-1308. (1972).

Hesse 1972: Hesse, P.R., A Textbook of Soil Chemical Analysis, Chemical Publishing Co. Inc., New York, New York, pp. 401-404. (1972).

HMIR 1980: Hazardous Materials Intelligence Report, Truck Leaks Hydrofluoric Acid in Connecticut, Wisconsin, pp. 5-6. (19 September 1980).

ILO 1980: International Labour Organization, Occupational Exposure Limits for Airborne Toxic Substances, Second (Revised) Edition, Geneva, Switzerland. (1980).

JANAF 1971: Stull, D.R., Prophet, H., JANAF Thermochemical Tables, Second Edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, D.C. (June, 1971).

Jorgensen 1979: Jorgensen, S.E. (ed.), Handbook of Governmental Data and Ecological Parameters, Pergamon Press, Oxford, England, p. 584. (1979).

JSSV 1979: Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, New York. (1979).

Kim 1979: Kim, B.Y., Ha, Y.L., Kim, J.O., Han, K.H., "Physiological Study on Rice Leaves Affected by Hydrogen Fluoride Gas", Soil Sci. Fert. Plant Prot. Microbiology; (Nongsa Sihom Yongu Pogo), Vol. 21, pp. 11-17. (1979).

Kirk-Othmer 1980: Grayson, M., Eckroth, D. (ed.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Vol. 10, John Wiley & Sons Inc., New York, New York. (1980).

Klein 1957: Klein, L., Aspects of River Pollution, Academic Press Inc., New York, New York. (1957).

Lefèvre 1980: Lefèvre, M.J., Becker, E.O., First Aid Manual for Chemical Accidents - For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross Inc., Pennsylvania. (1980).

Linde 1982: Linde Specialty Gases, Union Carbide Canada Limited, Oakville, Ontario. (1982).

Lorenc-Plucinska 1980: Lorenc-Plucinska, G., "Influence of Hydrogen Fluoride on the Rate of Carbon Dioxide Exchange in Scotch Pines of Different Susceptibility to this Gas", Arbor. Kornickie, Vol. 25, pp. 269-276. (1980).

MacKinnon 1983: MacKinnon, M.A., Allied Chemical, Director of Medical Services, Private Communication. (1983).

MacLean 1981: MacLean, D.C., Schneider, R.E., "Effects of Gaseous Hydrogen Fluoride on the Yield of Field-Grown Wheat", Environ. Pollut. Ser. A Ecol. Biol., Vol. 24, No. 1, pp. 39-44. (1981).

Mandl 1980: Mandl, R.H., Weinstein, L.H., Dean, M., Wheeler, M., "The Response of Sweet Corn to Hydrogen Fluoride and Sulphur Dioxide Under Field Conditions", Environ. Exp. Bot., Vol. 20, No. 4, pp. 359-365. (1980).

Matheson 1980: Matheson Gas Data Book, Matheson Division, Searle Medical Products USA Inc., Lyndhurst, New Jersey. (1980).

MCA 1970: Manufacturing Chemists Association, Chemical Safety Data Sheet - Hydrofluoric Acid, Washington, D.C. (1970).

MWPP 1978: Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec. (1978).

NFPA 1978: National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, Massachussetts. (1978).

NIOSH 1976: U.S. Department of Health, Education and Welfare, NIOSH Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Hydrogen Fluoride, National Institute for Occupational Safety and Health, Washington, D.C. (1976).

NIOSH 1977: National Institute of Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, Second Edition, Vol. 3, S. 176, Cincinnati, Ohio. (April, 1977).

NIOSH 1981: U.S. Department of Health and Human Services, Review and Evaluation of Recent Literature, Occupational Exposure to Sulphuric Acid, Washington, D.C., NIOSH Publication No. 82-104. (1981).

NIOSH Guide 1978: U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, United States Department of Health, Education, and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, D.C. (1978).

NIOSH/OSHA 1981: U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123. (1981).

OHM-TADS 1981: Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, D.C. (1981).

Ontario E.P. Act 1971: Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended. (1971).

Ont. 1981: Ontario Ministry of Labour, Exposure Criteria for Potentially Harmful Agents and Substances in Workplaces, Occupational Health and Safety Division, Toronto, Ontario. (May, 1981).

Pandey 1979: Pandey, G.P., Rao, D.N., "Hydrogen Fluoride-Induced Effects and Their Amelioration by Calcium Hydroxide Solution in Gladiolus Plants (Gladiolus sp.)", Beitr. Biol. Pflanz., Vol. 55, No. 1, pp. 119-128. (1979-1980).

Patty 1981: Clayton, G.D., Clayton, F.E. (ed.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vols. 2A, 2B, Third Revised Edition, John Wiley and Sons Canada Limited, Toronto, Ontario. (1981).

PB 203465: Guides for Short-term Exposures of the Public to Air Pollutants. III. Guide for Gaseous Hydrogen Fluoride, National Academy of Sciences, Washington, D.C. (1978).

PB 281483: Industrial Process Profiles for Environmental Use: Chapter 16, the Fluorocarbon-Hydrogen Fluoride Industry, The Radian Corp., for Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio. (1977).

PB 294276: Screening Study on Feasibility of Standards of Performance for Hydrofluoric Acid Manufacture, Research Corp. of New England, for Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina. (1978).

Perry 1973: Perry, R.H., Chilton, C.H. (ed.), Chemical Engineer's Handbook, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, New York. (1973).

Personal Communication with CDEP 1982: Personal Communication, Connecticut Department of Environmental Protection (CDEP), Hartford, Connecticut. (22 January 1982).

Proctor 1978: Proctor, N.H., Hughes, J.P., Chemical Hazards of the Workplace, J.B. Lippincott Company, Toronto, Ontario. (1978).

Quaroni 1979: Quaroni, S., Riganti, V., Specchiarello, M., Giorgi, G., "Fluorine Distribution in Vineyards in an Area Subjected Accidentally to Hydrogen Fluoride: Chemical and Phytopathological Data", Riv. Patol. Veg., Vol. 15, Nos. 1 & 2, pp. 65-73. (1979).

Quebec 1979: Gazette Officielle du Québec, Loi Sur La Qualité de l'Environnement. AC 3169-79 28 Novembre 1979, 111e Année, No. 59. (19 Décembre 1979).

Raj 1974: Raj, P.P.K., Lakekar, A.S., Assessment Models in Support of Hazard Assessment Handbook, Prepared for the Department of Transportation, U.S. Coast Guard, Washington, D.C. (January, 1974).

Rosenstock 1977: Rosenstock, H.M., Draxl, K., Steiner, B., Herron, J.T., Energetics of Gaseous Ions, National Bureau of Standards, Washington, D.C. (1977).

Rozhkov 1980: Rozhkov, A.S., Mikhailova, T.A., "Study of the Experimental Effect of Hydrogen Fluoride on Conifers", Gazoustoich. Rast., pp. 166-167. (1980).

RTDCR 1974: Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, Canadian Transport Commission, published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario. (1974).

RTECS 1979: Lewis, R.J., Tatken, R.L., Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, Ohio. (September, 1979).

RTECS 1981: National Institute for Occupational Safety and Health, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, U.S. Department of Health and Human Services, Washington, D.C., Microfiche. (October, 1981).

Sask. 1981: Saskatchewan Labour, Occupational Health and General Regulations, Occupational Health and Safety Branch, Regina, Saskatchewan. (May, 1980).

Sax 1979: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, Fifth Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1979).

Shreve 1977: Shreve, R.N., Brink, J.A., Chemical Process Industries, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, New York. (1977).

Sussex 1977: Pedley, J.B., Rylance, J., Sussex-N.P.L. Computer Analysed Thermochemical Data: Organic and Organometallic Compounds, University of Sussex, Sussex, Brighton, England. (1977).

Tauchnitz 1979: Tauchnitz, J., Schnabel, R., Samper, M., Hennig, H., "Dumping of Industrial Waste Products: 5. Jettison of Soil Contaminated with Hydrofluoric Acid", Hercynia, Vol. 16, No. 4, pp. 440-448. (1979).

TCM 1979: General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, Illinois. (May, 1979).

TDGC 1980: Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Ontario. (June, 1980).

TLV 1981: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV®s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1981, Cincinnati, Ohio. (1981).

TLV 1983: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV®s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, Ohio. (1983).

TOX TIPS 1981: Toxicology Testing in Progress, Sponsored by Toxicology Information Subcommittee, DHEW Committee to Coordinate Environmental and Related Programs. Available from the National Library of Medicine and NTIS. (1981).

TPS 1978: GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, California. (1978).

Trevino 1980: Trevino, M., Herrman, G.H., Sprout, W.L., Treatment of Severe Hydrofluoric Acid Exposures, E.I. du Pont de Nemours & Co., Wilmington, Delaware. (1980-estimate).

Ullmann 1975: Ullmanns Encyklopaedia der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim. (1975).

Water Management Goals 1978: Ontario Ministry of the Environment, Water Management Goals, Policies, Objectives and Implementation Procedures for the Ministry of the Environment, Toronto, Ontario. (November, 1978).

Welcher 1955: Welcher, F.J., Hahn, R.B., Semimicro Qualitative Analysis, D. Van Nostrand Co. Inc., Princeton, New Jersey, pp. 449-450. (1955).

Wilder 1972: Wilder, I., Brugger, J.E., Present and Future Technology Requirements for the Containment of Hazardous Material Spills, Proceedings of the 1972 Conference on Control of Hazardous Material Spills, Houston, Texas. (March, 1972).

WQC 1963: McKee, J.E., Wolf, H.W., Water Quality Criteria, Second Edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board. (1963).

WQC 1972: National Academy of Sciences, Water Quality Criteria 1972, A Report of the Committee on Water Quality Criteria, Environmental Studies Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C. (1972).

WQCDB-2 1971: Environmental Protection Agency, Water Quality Criteria Data Book: Inorganic Chemical Pollution of Freshwater, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, D.C., Vol. 2. (1971).

WQS 1979: McNeily, R.N., Neimans, V.P., Dwyer, L., Water Quality Sourcebook: A Guide to Water Quality Parameters, Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Environment Canada, Ottawa. (1979).

12.2 Bibliographie

Air Products and Chemicals, Inc., Specialty Gas Material Safety Data Sheet - Hydrogen Fluoride, Allentown, Pennsylvania. (March, 1978).

Allied Chemial Corporation, Hydrofluoric Acid, Morristown, New Jersey. (1978).

Allied Chemical Corporation, Medical Manual - Hydrofluoric Acid, Morristown, New Jersey. (1979).

Allied Chemical Corporation, Product Safety Data Sheets - Hydrofluoric Acid, Anhydrous, Hydrofluoric Acid, Aqueous, Hydrofluoric Acid, Morristown, New Jersey. (1981).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, Fourth Edition, Cincinnati, Ohio. (1980).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV®s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, Ohio. (1983).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV®s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1981, Cincinnati, Ohio. (1981).

American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31: Water, ASTM, Philadelphia, Pennsylvania, D1179 Method Band A. (1979).

Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario. Not dated.

Bailar, J.C., Emeléus, H.J., Nyholm, R., Trotman-Dickenson, A.F. (ed.), Comprehensive Inorganic Chemistry, Vol. 2, Pergamon Press, Oxford, United Kingdom. (1973).

Bauer, W.H., Borton, D.N., et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, D.C., CG-D-38-76. (August, 1975).

BDM Corporation, The AAR Hazardous Materials Data Base, Prepared for the Association of American Railroads, Parts I and II, McLean, Virginia. (May, 1981).

Beattie, J.R., Abby, F., Haddock, S.R., Kaiser, G.D., "The Toxic and Airborne Disposal Characteristics of Hydrogen Fluoride", Canvey, an Investigation of Potential Hazards from Operations in the Canvey Island/Thurrock Area, Health and Safety Executive, London, England. (1978).

Braley, G.K., "Several Remedies for the Treatment of Spillages of Liquid Hazardous Chemicals", Proceedings of the 1980 National Conference on Control of Hazardous Material Spills. (May, 1980).

Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, Second Edition, Butterworths, London, England. (1979).

British Columbia Workers Compensation Board, Industrial Health and Safety Regulations, Vancouver, British Columbia. (July, 1980).

Buchan, Lawton, Parent Ltd., A Survey of Self-Contained Breathing Apparatus and Totally-Encapsulated Chemical Protection Suits, Unedited version. Not dated.

The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario. (October, 1981).

Canadian Chemical Producers' Association, Private Communication, Ottawa, Ontario. (1982).

Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario. (1974).

Chemtech Industries, Hydrofluoric Acid Product Data Sheet, St. Louis, Missouri. Not dated.

Clayton, G.D., Clayton, F.E. (ed.), Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, Vols. 2A, 2B, Third Revised Edition, John Wiley and Sons Canada Limited, Toronto, Ontario. (1981).

Corpus Information Services Ltd., "Hydrogen Fluoride", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario. (April, 1982).

M.M. Dillon, Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills, Environment Canada, Ottawa, Ontario. (1982).

DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario. (1967).

Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, Michigan. (1978).

E.I. du Pont de Nemours & Co., Data Sheet - Hydrofluoric Acid Anhydrous - Technical, Wilmington, Delaware. (1982).

E.I. du Pont de Nemours & Co., Hydrofluoric Acid, Anhydrous - Technical Properties, Uses, Storage and Handling, Wilmington, Delaware. (1982).

Environmental Protection Agency, Water Quality Criteria Data Book: Inorganic Chemical Pollution of Freshwater, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, D.C., Vol. 2. (1971).

Environmental Protection Agency, Drinking Water Standards (Draft), The U.S. Environmental Protection Agency, Advisory Committee, Washington, D.C. (20 September 1973).

Environmental Protection Agency, Supplement to Development Document: Hazardous Substances Regulations, Section 311 Federal Water Pollution Control Act, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Standards, Washington, D.C., EPA 440/9-75-009. (November, 1975).

Federal-Provincial Working Group on Drinking Water of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health, Guidelines for Canadian Drinking Water Quality 1978, Ministry of National Health and Welfare, Ottawa, Canada. (1978).

Gazette Officielle du Québec, Loi Sur La Qualité de l'Environnement. AC 3169-79 28 November 1979, 111e Année, No. 59. (19 Décembre 1979).

General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, Illinois. (May, 1979).

General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, New York. (September/October, 1977).

General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, New York. (August, 1978).

GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, California. Not dated.

Grayson, M., Eckroth, D. (ed.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Third Edition, Vol. 10, John Wiley & Sons Inc., New York, New York. (1980).

GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, California. (1978).

Guides for Short-term Exposures of the Public to Air Pollutants III. Guide for Gaseous Hydrogen Fluoride, National Academy of Sciences, Washington, D.C., PB 203465. (1978).

Hazardous Materials Intelligence Report, Truck Leaks Hydrofluoric Acid in Connecticut, Wisconsin, pp. 5-6. (19 September 1980).

Hemens, J., Warwick, R.J., "The Effects of Fluorides on Estuarine Organisms", Water Research, Vol. 6, pp. 1301-1308. (1972).

Hesse, P.R., A Textbook of Soil Chemical Analysis, Chemical Publishing Co. Inc., New York, New York, pp. 401-404. (1972).

Huibregtse, K.R., et al., Manual for the Control of Hazardous Material Spills - Volume One - Spill Assessment and Water Treatment Techniques, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, Ohio, EPA 660/2-77-227. (November, 1977).

"Hydrofluoric Acid", Dangerous Properties of Industrial Materials Report, Vol. 1, No. 6, pp. 64-66. (July/August, 1981).

Industrial Process Profiles for Environmental Use: Chapter 16 the Fluorocarbon-Hydrogen Fluoride Industry, the Radian Corp., for Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, PB 281483. (1977).

International Labour Organization, Occupational Exposure Limits for Airborne Toxic Substances, Second (Revised) Edition, Geneva, Switzerland. (1980).

Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, New York. (1979).

Jorgensen, S.E. (ed.), Handbook of Governmental Data and Ecological Parameters, Pergamon Press, Oxford, England, p. 584. (1979).

Kim, B.Y., Ha, Y.L., Kim, J.O., Han, K.H., "Physiological Study on Rice Leaves Affected by Hydrogen Fluoride Gas", Soil Sci. Fert. Plant Prot. Microbiology; (Nongsa Sihom Yongu Pogo), Vol. 21, pp. 11-17. (1979).

Klein, L., Aspects of River Pollution, Academic Press Inc., New York, New York. (1957).

Lefèvre, M.J., Becker, E.O., First Aid Manual for Chemical Accidents - For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross Inc., Pennsylvania. (1980).

Lewis, R.J., Tatken, R.L., Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, Ohio. (September, 1980).

Lorenc-Plucinska, G., "Influence of Hydrogen Fluoride on the Rate of Carbon Dioxide Exchange in Scotch Pines of Different Susceptibility to this Gas", Arbor. Kornickie, Vol. 25, pp. 269-276. (1980).

MacLean, D.C., Schneider, R.E., "Effects of Gaseous Hydrogen Fluoride on the Yield of Field-Grown Wheat", Environ. Pollut. Ser. A Ecol. Biol., Vol. 24, No. 1, pp. 39-44. (1981).

Mandl, R.H., Weinstein, L.H., Dean, M., Wheeler, M., "The Response of Sweet Corn to Hydrogen Fluoride and Sulphur Dioxide Under Field Conditions", Environ. Exp. Bot., Vol. 20, No. 4, pp. 359-365. (1980).

Manufacturing Chemists Association, Chemical Safety Data Sheet - Hydrofluoric Acid, Washington, D.C. (1970).

Matheson Division, Matheson Gas Data Book, Searle Medical Products USA Inc., Lyndhurst, New Jersey. (1980).

McKee, J.E., Wolf, H.W., Water Quality Criteria, Second Edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board. (1963).

MacKinnon, M.A., Allied Chemical Corporation, Director of Medical Services, Private Communication. (1983).

McNeily, R.N., Neimans, V.P., Dwyer, L., Water Quality Sourcebook: A Guide to Water Quality Parameters, Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Environment Canada, Ottawa. (1979).

National Academy of Sciences, Water Quality Criteria 1972, A Report of the Committee on Water Quality Criteria, Environmental Studies Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C. (1972).

National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, Massachussetts. (1978).

National Institute of Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, Second Edition, Vol. 3, S. 176., Cincinnati, Ohio. (April, 1977).

National Institute for Occupational Safety and Health, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, U.S. Department of Health and Human Services, Washington, D.C. Microfiche. (October, 1981).

"News Summary", Eco/Log Week, Vol. 9, No. 44, p. 4. (13 November 1981).

Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, D.C. (1981).

Ontario Ministry of Labour, Exposure Criteria for Potentially Harmful Agents and Substances in Workplaces, Occupational Health and Safety Division, Toronto, Ont. (May, 1981).

Ontario Ministry of the Environment, Water Management Goals, Policies, Objectives and Implementation Procedures for the Ministry of the Environment, Toronto, Ontario. (November, 1978).

Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended. (1971).

Pandey, G.P., Rao, D.N., "Hydrogen Fluoride-Induced Effects and Their Amelioration by Calcium Hydroxide Solution in Gladiolus Plants (Gladiolus sp.)", Beitr. Biol. Pflanz, Vol. 55, No. 1, pp. 119-128. (1979-1980).

Pedley, J.B., Rylance, J., Sussex-N.P.L. Computer Analysed Thermochemical Data: Organic and Organometallic Compounds, University of Sussex, Sussex, Brighton, England. (1977).

Perry, R.H., Chilton, C.H. (ed.), Chemical Engineer's Handbook, Fifth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, New York. (1973).

Personal Communication, Connecticut Department of Environmental Protection (CDEP), Hartford, Connecticut. (22 January 1982).

Proctor, N.H., Hughes, J.P., Chemical Hazards of the Workplace, J.B. Lippincott Company, Toronto, Ontario. (1978).

Quaroni, S., Riganti, V., Specchiarello, M., Giorgi G., "Fluorine Distribution in Vineyards in an Area Subjected Accidentally to Hydrogen Fluoride: Chemical and Phytopathological Data", Riv. Patol. Veg., Vol. 15, Nos. 1 & 2, pp. 65-73. (1979).

Raj, P.P.K., Lakekar, A.S., Assessment Models in Support of Hazard Assessment Handbook, Prepared for the Department of Transportation, U.S. Coast Guard, Washington, D.C. (January, 1974).

Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec. (1978).

Rosenstock, H.M., Draxl, K., Steiner, B., Herron, J.T., Energetics of Gaseous Ions, National Bureau of Standards, Washington, D.C. (1977).

Rozhkov, A.S., Mikhailova, T.A., "Study of the Experimental Effect of Hydrogen Fluoride on Conifers", Gazoustoich. Rast., pp. 166-167. (1980).

Saskatchewan Labour, Occupational Health and General Regulations, Occupational Health and Safety Branch, Regina, Saskatchewan. (May, 1980).

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, Fifth Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, New York. (1979).

Screening Study on Feasibility of Standards of Performance for Hydrofluoric Acid Manufacture, Reaserch Crop. of New England, for Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, PB 294276. (1978).

Shreve, R.N., Brink, J.A., Chemical Process Industries, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, New York. (1977).

Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Vol. 64, No. 9, Don Milis, Ontario. (December, 1980).

"Spent Pickling Acids Recovered by Evaporation", Eco/Log, Vol. 9, No. 44, p. 3. (13 November 1981).

Stull, D.R., Prophet, H., JANAF Thermochemical Tables, Second Edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, D.C. (June, 1971).

Tauchnitz, J., Schnabel, R., Samper, M., Hennig, H., "Dumping of Industrial Waste Products: 5. Jettison of Soil Contaminated with Hydrofluoric Acid", Hercynia, Vol. 16, No. 4, pp. 440-448. (1979).

Toxicology Testing in Progress, Sponsored by Toxicology Information Subcommittee, DHEW Committee to Coordinate Environmental and Related Programs, Available from the National Library of Medicine and NTIS. (1981).

Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol.1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Ontario. (June, 1980).

Trevino, M., Herrman, G.H., Sprout, W.L., Treatment of Severe Hydrofluoric Acid Exposures, E.I. du Pont de Nemours & Co., Wilmington, Delaware (1980-estimated).

Union Carbide Canada Limited, Linde Specialty Gases, Oakville, Ontario. (1982).

Uniroyal, Guide to Polymer Properties, Uniroyal Inc., Mishawaka, Indiana. Not dated.

Ullmann, Ullmanns Ecyklopaedie des technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim. (1973).

U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123. (1981).

U.S. Department of Health and Human Services, Review and Evaluation of Recent Literature, Occupational Exposure to Sulphuric Acid, Washington, D.C., NIOSH Publication No. 82-104. (1981).

U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, United States Department of Health, Education, and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, D.C. (1978).

U.S. Department of Health, Education and Welfare, NIOSH Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Hydrogen Fluoride, National Institute for Occupational Safety and Health, Washington, D.C. (1976).

U.S. Department of Transportation, CHRIS Hazard Assessment Handbook, U.S. Coast Guard, Washington, D.C., CG-446-3. (April, 1974).

U.S. Department of Transportation, Emergency Action Guide for Selected Hazardous Materials, U.S. D.O.T., Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, D.C. (1978).

U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, U.S. Department of Transportation, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, D.C. (1980).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th Edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, Ohio. (1980).

Welcher, F.J., Hahn, R.B., Semimicro Qualitative Analysis, D. Van Nostrand Co. Inc., Princeton, New Jersey, pp. 449-450. (1955).

Wilder, I., Brugger, J.E., Present and Future Technology Requirements for the Containment of Hazardous Material Spills, Proceedings of the 1972 Conference on Control of Hazardous Material Spills, Houston, Texas. (March, 1972).

Yaws, C.L., "Physical and Thermodynamic Properties - Hydrogen Halides", Chemical Engineering, Vol. 81, No. 23, p. 113. (28 October 1974).